



TESIS - TM 142501

# **STUDI KOMPARASI DISTRIBUSI TEMPERATUR NYALA API *BLOW-TORCH* KEROSIN DAN *MIXING* KEROSIN + GAS HHO**

**INDAH PUSPITASARI  
NRP. 2113 202 009**

**Dosen Pembimbing:  
Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono Kawano, M.Eng.Sc**

**PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA KONVERSI ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**



**THESIS - TM 142501**

**COMPARISON STUDY OF TEMPERATURE  
DISTRIBUTION IN BLOWTORCH FLAME  
KEROSENE FUELED AND MIXTURE OF  
KEROSENE + HHO GAS**

**INDAH PUSPITASARI  
NRP. 2113 202 009**

**Advisor :  
Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono Kawano, M.Eng.Sc**

**MASTER PROGRAM  
ENERGY CONVERSION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2015**

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)  
di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:  
Indah Puspitasari  
NRP. 2113202009

Tanggal Ujian: 07 Juli 2015  
Periode Wisuda: September 2015

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Ir. H Djoko Sungkono K, M.Eng.Sc.

NIP. 1944 0907 1976 031001

( Pembimbing )

2. Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

NIP. 1971 0405 1997 021001

( Penguji )

3. Ary Bachtiar K.P, ST., MT., Ph.D.

NIP. 1971 0524 1997 021001

( Penguji )

4. Vivien Supandhani, ST., M. Eng., Ph.D.

NIP. 1981 0529 2003 122001

( Penguji )

Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT

NIP. 1964 0405 1990 021001



# STUDI KOMPARASI DISTRIBUSI TEMPERATUR NYALA API PADA *BLOW-TORCH* KEROSIN DAN *MIXING* KEROSIN + GAS HHO

Nama : Indah Puspitasari  
NRP : 2113202009  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono K., M.Eng.Sc

## ABSTRAK

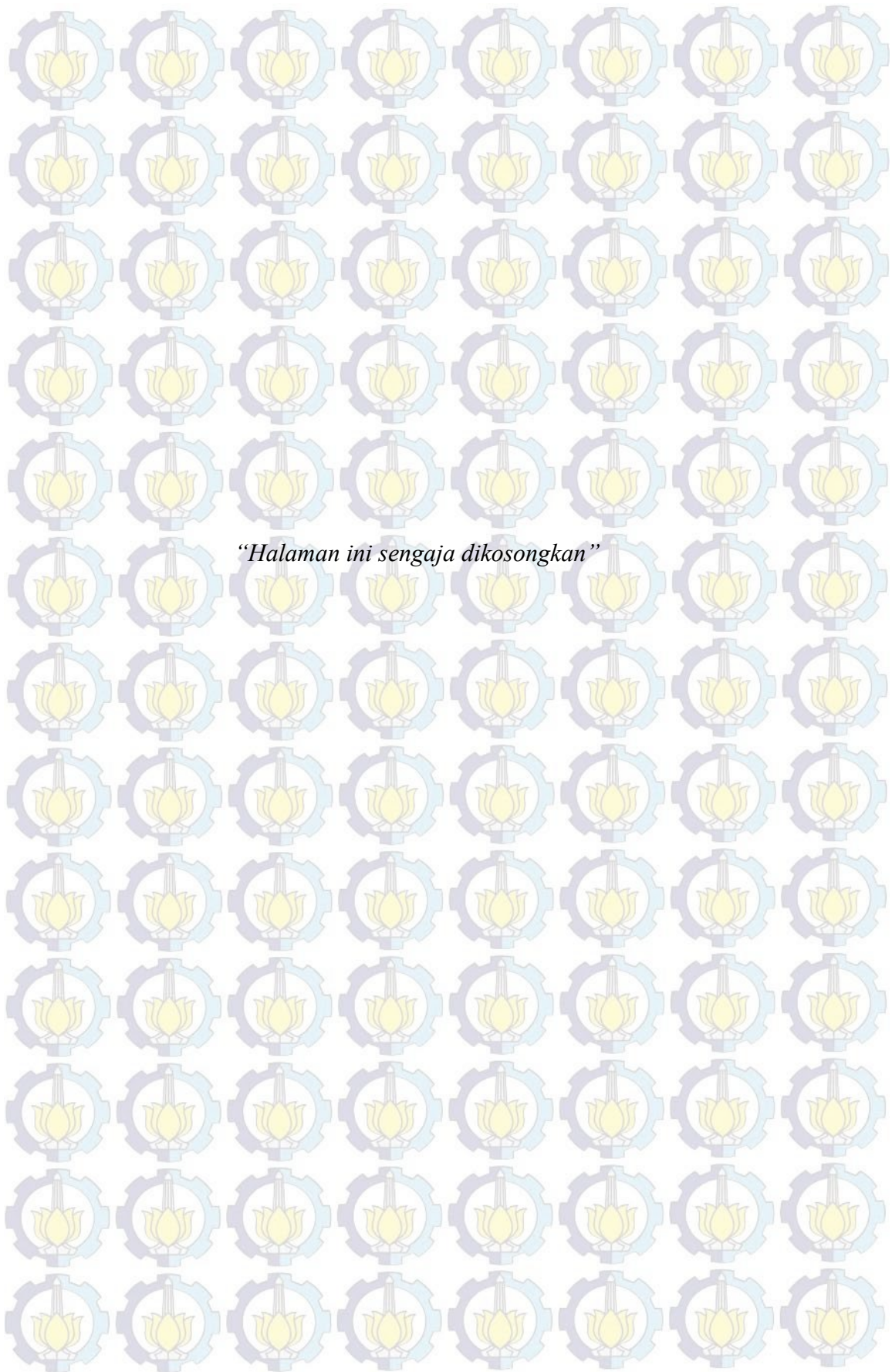
Distribusi temperatur nyala api *blow-torch* dapat ditampilkan secara *isothermal* bidang sehingga akan terlihat pola bidang – bidang temperatur. Bahan bakar utama yg diujikan adalah kerosin dengan bahan bakar *extender* gas HHO yang diperoleh dengan cara elektrolisa air yang kemudian di *premix* sebelum dibakar.

Penelitian ini dilakukan secara *true experimental laboratory* pada Lab TPBB Jurusan Teknik Mesin FTI ITS untuk diketahui pola bidang – bidang temperatur yang menggunakan bahan bakar kerosin + gas HHO dibanding dengan *blow-torch* yang hanya berbahan bakar kerosin saja. Variasi yg digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah kerosin yang masuk di *mixing chamber* mulai dari kerosin murni, kerosin bukaan katup 25% + gas HHO, dan kerosin bukaan katup 50% + gas HHO. Gas HHO yang masuk ke ruang bakar didapat dari generator buatan peneliti dengan laju produksi 2,3 LPM. Parameter nyala api yang diukur adalah panjang api, temperatur api, iso temperatur (bidang), daya bahan bakar dan radiasi api *blow-torch*.

Hasil penelitian dan analisa data didapatkan temperatur tertinggi ujung api dihasilkan oleh variasi kerosin bukaan katup 50% + gas HHO yaitu sebesar 800 °C, sedangkan kerosin murni temperaturnya hanya 550 °C. Terjadi peningkatan daya bahan bakar pada *blow-torch*. Pada kerosin murni, daya yang dihasilkan sebesar 38.087 watt, kerosin bukaan katup 25% + gas HHO meningkat menjadi sebesar 39.445 watt, sedangkan pada kerosin bukaan katup 50% + gas HHO meningkat menjadi sebesar 39.969 watt. Dari ketiga variasi, radiasi api dan distribusi temperatur rata-rata api tertinggi dihasilkan oleh variasi kerosin bukaan katup 50% + gas HHO, titik puncak api juga menjadi lebih maju. Dapat disimpulkan bahwa *blow-torch* dengan bahan bakar *mixing* kerosin + gas HHO bisa digunakan untuk memanaskan *furnace* yang membutuhkan panas tinggi secara radiasi.

Kata kunci: Temperatur nyala api, *Blow-torch*, gas HHO, generator, kerosin.







# **COMPARISON STUDY OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN BLOWTORCH FLAME KEROSENE FUELED AND MIXTURE OF KEROSENE + HHO GAS**

Name : Indah Puspitasari  
NRP : 2113202009  
Department : Mechanical Engineering  
Lecturer : Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono K., M.Eng.Sc

## **ABSTRACT**

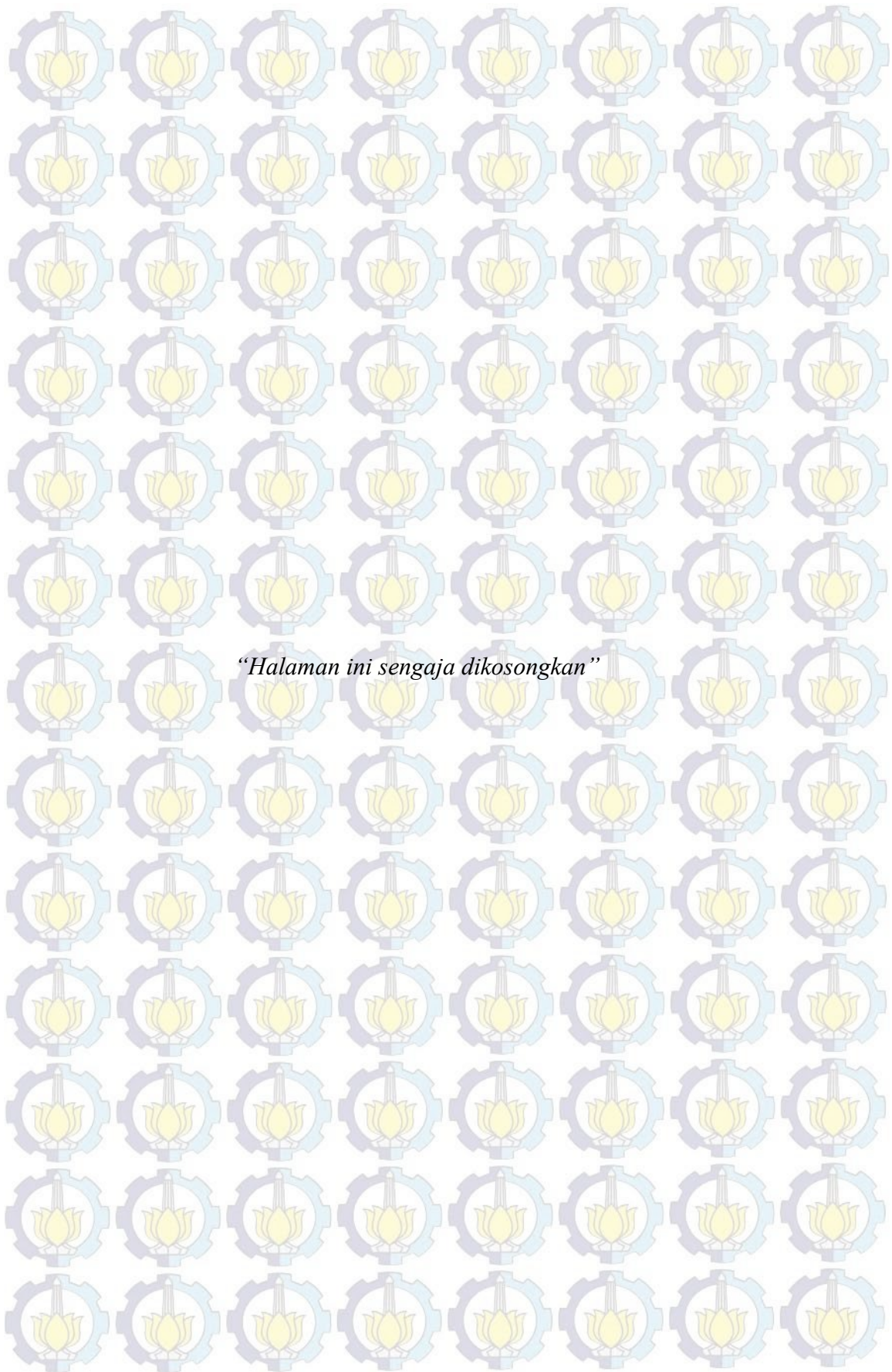
The temperature distribution of blow-torch flame can be displayed in isothermal field so it will look pattern fields of temperature. The main fuel is kerosene which tested the fuel extender HHO gas obtained by electrolysis of water which was then in the premix before burning.

This study was carried out with true experimental laboratory in Department of Mechanical Engineering Laboratory TPBB FTI ITS for known patterns of the fields that uses the fuel temperature kerosene + HHO gas compared with blow-torch that only fueled kerosene. Variations that are used in this study is the number of incoming kerosene in mixing chamber ranging from pure kerosene, kerosene valve opening 25% + HHO gas, and kerosene valve opening 50% + HHO gas. The HHO gas into the fuel obtained from artificial generator researcher at the rate of 2.3 LPM. Parameters measured flame is long fire, flame temperature, isothermal field, power and radiation blow-torch flame.

Results of research and data analysis obtained the highest temperature flame tip produced by variations in the valve opening kerosene 50% + HHO gas is equal to 800°C, while the temperature of pure kerosene just 550°C. An increase in the power of fuel in blow-torch. On pure kerosene, the power generated by 38087 watts, kerosene valve opening 25% + HHO gas increased to 39445 watts, while the valve opening kerosene 50% + HHO gas increased to 39969 watts. Of the three variations, flame radiation and temperature distribution on average the highest flame produced by variations in the valve opening kerosene 50% + HHO gas, the cusp of the fire also become more advanced. It can be concluded that the blow-torch with fuel mixing kerosene + HHO gas can be used to heat the furnaces that require high heat radiation.

Keywords: temperature flame, blow-torch, HHO gas, generator, kerosene.







## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur alhamdulillah atas rahmat Allah SWT, yang senantiasa melimpahkan berkah, rahmat, taufiq, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul ” **Studi Komparasi Distribusi Temperatur Nyala Api *Blow-torch* Kerosin dan *Mixing* Kerosin + Gas HHO** ”. Walaupun berbagai halangan dan hambatan yang penulis temukan dalam proses penulisan Tesis ini, namun akhirnya penulis dapat menyelesaikannya.

Keberhasilan Tesis ini tidak lepas dari bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Ibunda tercinta Ibu Sholikatur dan Bapak Damin yang tak henti-hentinya melantunkan do'a sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis.
2. Adikku Ratih Purwasih yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
3. Bapak Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D selaku Ketua Jurusan Pascasarjana Teknik Mesin beserta staff.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono Kawano, M.Eng.Sc, selaku dosen pembimbing atas waktu yang diberikan, diskusi, bimbingan dan nasehat selama pengerjaan dan penulisan Tesis ini.
5. Bapak Dr. Bambang Arip D, ST.,M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan nasehat dan bimbingan.
6. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT., Bapak Ary Bachtiar ST., MT., Ph.D, Ibu Vivien Supandany, ST., M.Eng., Ph.D, dan Bapak Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT., selaku tim dosen penguji Tesis.
7. Sahabat Kuntang Winangun yang selalu mendampingi dan memberikan motivasi kepada penulis.
8. Rekan-rekan mahasiswa RKE 2013 Jurusan Teknik Mesin FTI ITS : Mba Novi, Mba Dini, Cak Nanang, Bang Dori, Cak Masykur, Mba Intan, Uda Arif, Atik, Mba Wulan, Mba Eky, Mba Nisa, Pak Sudirman, Mas Anton, Dio, dan Mas Suliono yang telah memberikan banyak bantuan dan dukungan selama pengerjaan Tesis agar bisa lulus bersama-sama.



9. Teman-teman Lab. TPBB : Mas Diki, Beta, Mas Agus, I Putu, Mas Toni dan Mas Zubairi yang sudah membantu pengerjaan Tesis selama di Lab.
10. Teman-teman Kos Keputih Perintis : Mba Wuri, Dek Orin, Dek Salma, Dek Serly, dan Dek Zulia yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam pengerjaan Tesis.
11. Serta pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tesis ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari akan kekurangan-kekurangan dalam penulisan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran untuk sempurnanya Tesis ini. Akhir kata penulis mohon maaf atas segala kesalahan dan kekurangan. Semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2015

Penulis



## DAFTAR ISI

**HALAMAN JUDUL**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**KATA PENGANTAR**..... i

**ABSTRAK** ..... iii

**ABSTRACT**..... v

**DAFTAR ISI**..... vii

**DAFTAR TABEL** ..... xi

**DAFTAR GAMBAR**..... xiii

**DAFTAR LAMPIRAN** ..... xv

**BAB I PENDAHULUAN**..... 1

1.1 Latar Belakang ..... 1

1.2 Perumusan Masalah ..... 4

1.3 Batasan Masalah ..... 4

1.4 Tujuan Penelitian ..... 5

1.5 Manfaat Penelitian ..... 5

1.6 Sistematika ..... 5

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA** ..... 7

2.1 *Blow-torch*..... 7

2.2 Prinsip Ejector..... 8

2.3 Bahan Bakar ..... 9

2.3.1 Bahan Bakar Kerosin (Minyak Tanah) ..... 10

2.3.1.1 ..... A

atomisasi Kerosin..... 10

2.3.1.2 ..... P

engaruh Tekanan Terhadap Proses Atomisasi ..... 11

2.3.2 Brown's Gas (Hidrogen Hidrogen Oksida, HHO) ..... 11

2.3.3 Proses Elektrolisa Air untuk Memproduksi Gas HHO ..... 13

2.3.3.1 ..... M

ass Flowrate Gas HHO ..... 14



2.3.3.2 .....	N	
ilai Kalor Bawah (NKB) Gas HHO .....		15
2.4 Reaksi Proses dan Pembakaran .....		16
2.4.1 .....	P	
embakaran Teoritis .....		18
2.4.2 .....	P	
embakaran Aktual .....		18
2.5 Teori Api .....		19
2.5.1 .....	K	
arakteristik Api .....		19
2.5.2 .....	K	
lasifikasi Api .....		20
2.5.2.1 .....	P	
<i>remixed Flame</i> .....		21
2.5.2.2 .....	D	
<i>iffusion Flame (Non-premixed)</i> .....		22
2.6 Distribusi Temperatur Api .....		24
2.7 Daya <i>Blow-torch</i> .....		26
2.8 Radiasi Api dari <i>Blow-torch</i> .....		26
2.9 Tinjauan Penelitian Terdahulu .....		27
2.9.1 Djoko Sungkono (1997) .....		27
2.9.2 Subairi Rizal (2014) .....		28
2.9.3 Brillyano Agni Pradipta (2013) .....		29
2.9.4 Rankin et al (2014) .....		31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>35</b>
3.1 Diagram Alir ( <i>Flowchart</i> ) .....		35
3.2 Peralatan Eksperimen .....		37
3.2.1 <i>Burner Uji</i> .....		37
3.2.2 Bahan Bakar .....		38
3.2.3 Generator HHO .....		38
3.2.4 Peralatan Pendukung .....		41



3.2.5 Peralatan Ukur.....	45
3.3 Prosedur Pengujian .....	49
3.3.1 Instalasi dan Pengujian Generator HHO .....	49
3.3.2 Instalasi dan Pengambilan Data Api Kerosin Murni .....	50
3.3.3 Instalasi dan Uji <i>Mixing</i> .....	53
3.4 Rencana dan Jadwal Kegiatan Penelitian.....	55

## **BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA**

4.1 Dokumentasi Nyala Api dan Kontur <i>Isothermal</i> .....	57
4.1.1 Kontur <i>Isothermal</i> Api Difusi pada <i>Blow-torch</i> Kerosin Murni.....	58
4.1.2 Kontur <i>Isothermal</i> Api Difusi pada <i>Blow-torch</i> Kerosin Buka-an Katup 25% + gas HHO .....	59
4.1.3 Kontur <i>Isothermal</i> Api Difusi pada <i>Blow-torch</i> Kerosin Buka-an Katup 50% + gas HHO .....	60
4.2 Analisa Struktur Api berdasarkan Kontur <i>Isothermal</i> .....	63
4.2.1 Api Difusi pada <i>Blow-torch</i> Kerosin Murni.....	63
4.2.2 Api <i>Premix</i> pada <i>Blow-torch</i> Kerosin Buka-an Katup 25% + gas HHO .....	64
4.2.3 Api <i>Premix</i> pada <i>Blow-torch</i> Kerosin Buka-an Katup 50% + gas HHO .....	65
4.3 Distribusi Temperatur Rata-rata.....	67
4.4 Daya Bahan Bakar <i>Blow-torch</i> .....	71
4.4.1 Properties Bahan Bakar .....	71
4.4.2 Daya Bahan Bakar Kerosin Murni.....	71
4.4.3 Daya Bahan Bakar Kerosin Buka-an Katup 25% + gas HHO .....	72
4.4.4 Daya Bahan Bakar Kerosin Buka-an Katup 50% + gas HHO .....	73
4.4.5 Analisa Daya Bahan Bakar pada <i>Blow-torch</i> .....	74
4.5 Radiasi Api pada <i>Blow-torch</i> .....	75

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**







## DAFTAR GAMBAR

2.1	Proyeksi 2D <i>blow-torch</i> .....	8
2.2	Prinsip Kerja Ejector.....	9
2.3	Proses Pemecahan Molekul Air menjadi Gas HHO .....	11
2.4	Skema Elektrolisa Air Murni .....	13
2.5	Profil temperatur nyala api.....	20
2.6	Model pencampuran (a) <i>Premix flame</i> , (b) <i>Diffusion flame</i> .....	21
2.7	Pembagian zona api.....	22
2.8	<i>Laminar turbulent flame</i> .....	24
2.9	Contoh penampang distribusi temperatur api .....	25
2.10	Grafik waktu produksi gas HHO setiap satu liter terhadap jumlah massa KOH.....	28
2.11	Grafik temperatur lidah api terhadap jarak dari nozzle .....	30
2.12	Intensitas radiasi .....	31
2.12	Intensitas radiasi rata-rata.....	32
3.1	Diagram Alir ( <i>flow chart</i> ) Penelitian.....	35
3.2	<i>Burner uji blowtorch</i> .....	38
3.3	Generator HHO Tipe Kering .....	39
3.4	Luasan Elektroda Proses Terjadinya Elektrolisis pada Tipe Dry Cell.....	40
3.5	O-Ring .....	40
3.6	<i>Fitting Pneumatic</i> dan Selang.....	40
3.7	Baut, Mur dan Ring .....	41
3.8	Baterai Accu .....	41
3.9	<i>Battery Charger</i> .....	42
3.10	<i>Bubbler</i> .....	43
3.11	HHO gas flowmeter.....	43
3.12	<i>Water Trap</i> .....	44
3.13	<i>Check Valve (Flashback arrestor)</i> .....	44
3.14	Katup Gas HHO.....	45



3.15 Gelas Ukur .....	45
3.16 Timbangan Digital.....	46
3.17 <i>Clamp Meter</i> .....	46
3.18 <i>Thermometer</i> .....	47
3.19 Stopwatch Digital.....	47
3.20 Jangka Sorong .....	48
3.21 Termokopel .....	48
3.22 Indikator Temperatur .....	49
3.23 Rangkaian instalasi pengujian generator HHO .....	49
3.24 Rangkaian instalasi pengujian api kerosin murni.....	51
3.25 Rangkaian instalasi pengujian api <i>mixing</i> .....	53
4.1 Hasil dokumentasi nyala api dan kontur <i>isothermal</i> api difusi pada <i>blow-torch</i> kerosin murni .....	52
4.2 Hasil dokumentasi nyala api dan kontur <i>isothermal</i> api difusi pada <i>blow-torch</i> kerosin bukaan katup 25% + gas HHO .....	53
4.3 Hasil dokumentasi nyala api dan kontur <i>isothermal</i> api difusi pada <i>blow-torch</i> kerosin bukaan katup 50% + gas HHO .....	54
4.4 Perbandingan kontur <i>isothermal</i> api difusi pada <i>blow-torch</i> dengan 3 variasi .....	55
4.5 Struktur api difusi pada <i>blow-torch</i> kerosin murni.....	56
4.6 Struktur api difusi pada <i>blow-torch</i> kerosin bukaan katup 25% + gas HHO .....	57
4.7 Struktur api difusi pada <i>blow-torch</i> kerosin bukaan katup 50% + gas HHO .....	58
4.8 Grafik panjang nyala api terhadap variasi bahan bakar.....	59
4.9 Grafik temperatur maksimal api terhadap variasi bahan bakar .....	60
4.10 Grafik temperatur rata-rata maksimal terhadap variasi bahan bakar.....	63
4.11 Grafik letak temperatur rata-rata maksimal terhadap premixed gas HHO .....	63
4.12 Grafik temperatur rata-rata vs panjang api .....	64
4.13 Grafik hubungan variasi bahan bakar terhadap daya.....	68
4.14 Grafik radiasi vs variasi bahan bakar .....	71

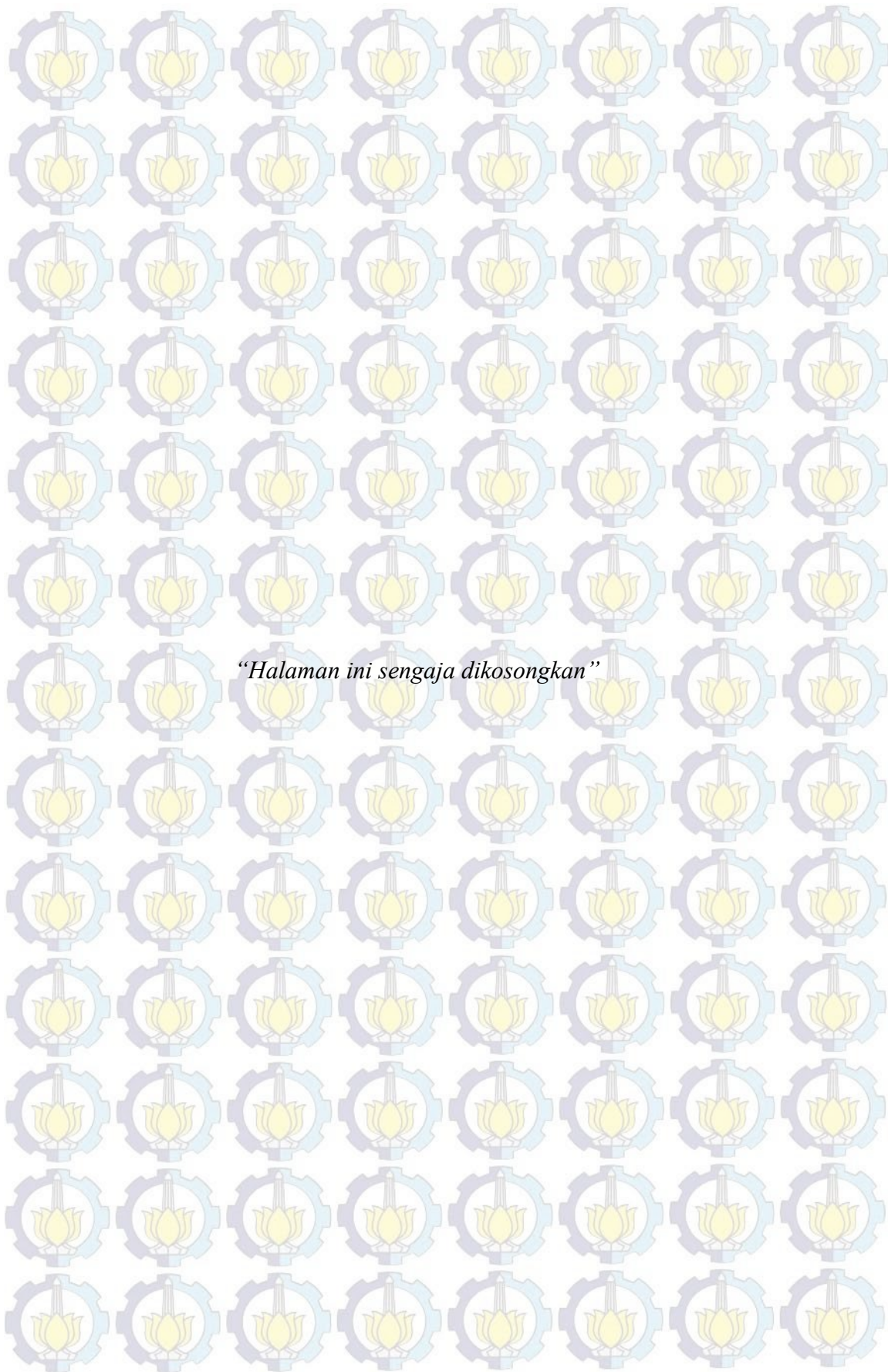




## DAFTAR TABEL

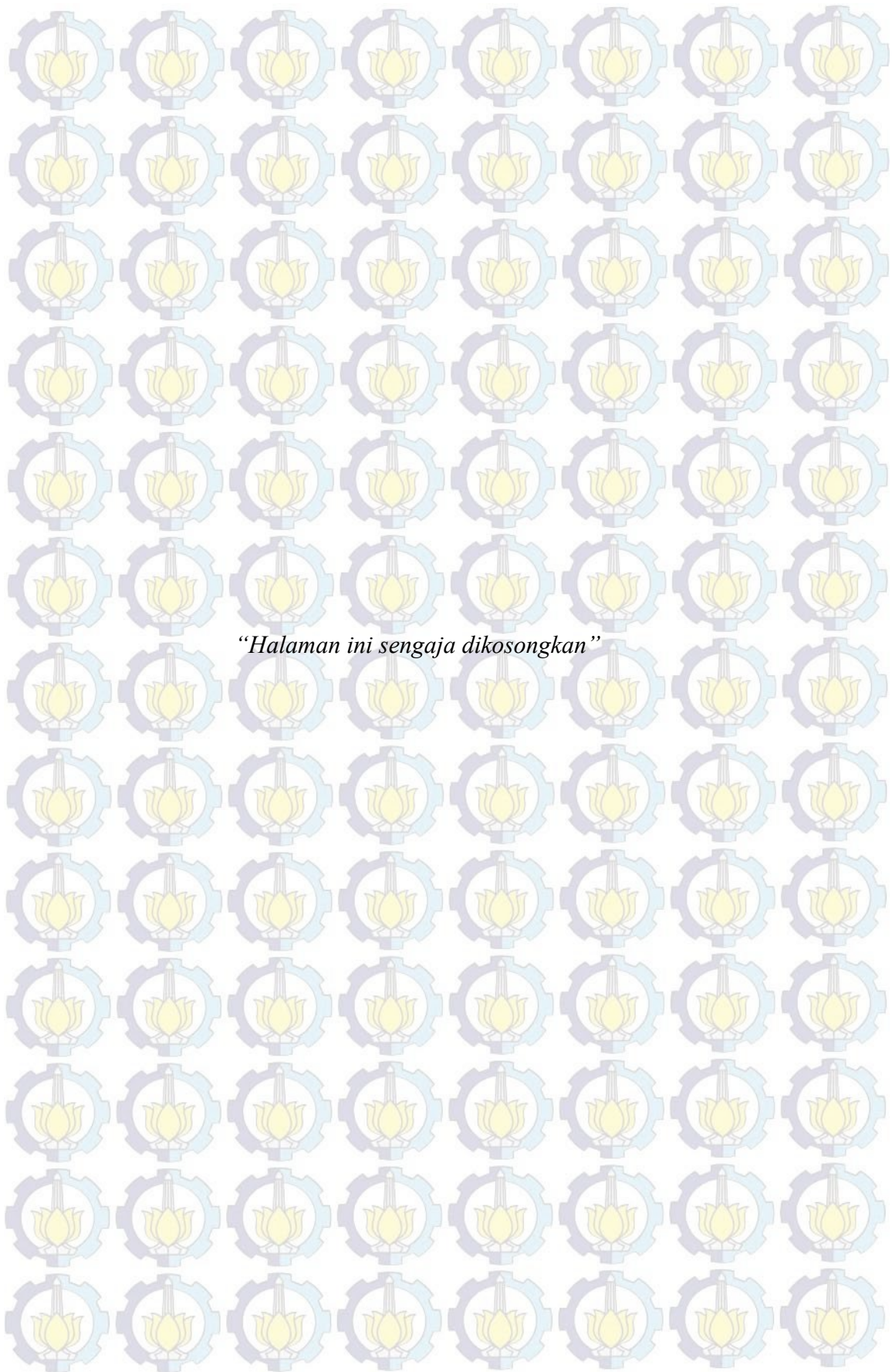
2.1	Karakteristik Bahan Bakar Kerosin .....	10
2.2	Perbandingan Properties Kerosin dan Hidrogen .....	12
2.3	Perbandingan Hasil Penelitian Terdahulu .....	33
3.1	Lembar Data Pengujian Temperatur Api .....	52
3.2	Rencana dan Jadwal Kegiatan Penelitian .....	55
4.1	Data temperatur rata-rata pada tiap pengukuran panjang .....	68





<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	
Lampiran 1 .....	81
Lampiran 2 .....	85
Lampiran 3 .....	89





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu alat pembakaran yang sangat penting dalam dunia industri adalah burner. Agar menghasilkan efisiensi maksimal terutama dalam hal efisiensi *thermal*, perlu dibutuhkan suatu perencanaan yang optimal baik dari aspek teknis maupun dari segi penggunaannya. Salah satu faktor dalam perencanaan suatu peralatan pembakaran tersebut adalah mengetahui karakteristik api dan distribusi temperatur nyala api. Dari distribusi temperatur nyala api, akan diketahui pola bidang – bidang temperatur yang sesuai dengan aspek teknis dan penggunaannya.

*Blow-torch* merupakan salah satu jenis burner yang prinsip kerjanya seperti kompor tekan. Hampir semua industri membutuhkan burner, misalnya untuk memanaskan ruang – ruang tertentu yang mencapai temperatur 1000°C, *blow-torch* menjadi pilihan yang tepat sebagai burner karena panas yang dihasilkan oleh *blow-torch* lebih tinggi dari burner yang lain. Salah satu contohnya mesin rotary kiln pada industri pembuatan semen, untuk membuat bubuk semen menjadi bubuk semen, dibutuhkan ruang pemanas yang temperaturnya mencapai 1000°C.

Bahan bakar juga menjadi aspek utama untuk syarat pembakaran. Namun akhir-akhir ini bahan bakar fosil yang menjadi sumber energi utama dalam dunia industri sudah mulai langka. Pencarian energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (minyak bumi) sampai sekarang ini terus dilakukan, diantaranya adalah memaksimalkan konversi energi listrik dari matahari, biofuel serta pengembangan potensi air (H<sub>2</sub>O). Air merupakan sumber energi terbarukan karena ketersediaannya yang melimpah ruah. Penelitian tentang teknologi penghemat bahan bakar menggunakan air, mengacu pada proses elektrolisis air yang menghasilkan gas hidrogen hidrogen oksida (HHO) atau gas brown yang dapat digunakan untuk keperluan pembakaran. Proses



elektrolisis air menggunakan generator HHO merupakan salah satu cara untuk memecah air ( $H_2O$ ) menjadi hidrogen ( $H_2$ ) dan oksigen ( $O_2$ ).

Penelitian mengenai performa generator HHO sudah banyak dikembangkan dengan memvariasikan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi jumlah gas HHO yang dihasilkan. Beberapa faktor tersebut yaitu mulai dari arus listrik yang dialirkan, jenis dan jumlah katalis yang terkandung pada larutan serta jenis dan besarnya luas penampang maupun bentuk susunan pada masing-masing elektroda. Generator tersebut diaplikasikan ke berbagai kendaraan bermesin bensin dan diesel, kompor serta *burner*.

Penelitian yang dilakukan oleh I Putu Ari Saputra (2014) tentang pengaruh penambahan gas HHO dengan bahan bakar kerosin terhadap distribusi temperatur nyala api kompor tekan (*blow-torch*) dengan menggunakan generator HHO tipe kering, disimpulkan bahwa *blow-torch* dengan bahan bakar *mixing* kerosin dan gas HHO memiliki temperatur lidah api yang lebih panas dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar kerosin murni. Besarnya daya yang dihasilkan oleh gas HHO serta besarnya daya yang dihasilkan kerosin meningkatkan temperatur lidah api sebesar lebih dari  $300^{\circ}C$ . Letak titik puncak api yang lebih maju dihasilkan pada *blow-torch* dengan bahan bakar kerosin dan gas HHO dibanding dengan kerosin.

Demikian juga dengan hasil penelitian pengaruh pencampuran gas hidrogen dari generator HHO tipe kering dengan bahan bakar kerosin pada distribusi temperatur nyala api *blow-torch* oleh Brillyano Agni Pradipta (2013), dapat disimpulkan bahwa *blow-torch* kerosin dengan penambahan gas HHO memiliki lidah api yang jauh lebih panas jika dibandingkan dengan kerosin murni. Penambahan daya oleh gas HHO sebesar 0,08% dari besarnya daya yang dihasilkan kerosin meningkatkan temperatur api lebih dari  $100^{\circ}C$ . Terjadi titik puncak api yang lebih maju pada campuran bahan bakar kerosin dengan gas HHO dibandingkan kerosin murni. Lebih sedikit jelaga yang terbentuk pada pembakaran bahan bakar campuran dibandingkan kerosin murni dan pembakaran yang terjadi lebih sempurna.



Berdasarkan penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa penggunaan campuran bahan bakar kerosin dengan gas HHO sangat berpengaruh terhadap karakteristik dan distribusi temperatur nyala api pada *blow-torch*. Oleh sebab itu, peneliti tertarik untuk mengoptimalkan distribusi temperatur nyala api, daya dan radiasi api pada *blow-torch* jika menggunakan generator gas HHO dengan laju produksi 2,3 L/menit. Generator ini merupakan tipe kering, terbuat dari material SS 316L dengan ukuran pelat 150 mm x 150 mm terdiri dari 1 *cell* menggunakan 4 pelat netral. O-ring yang diletakkan antar plat berbahan karet dengan ketebalan 2,5 mm. Sebagai katalisnya, dalam 1 liter air aquades dicampur dengan 12 gram KOH.

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan bahan bakar kerosin dengan alasan bahwa kerosin lebih aman daripada bahan bakar LPG dari segi karakteristik bahan bakar yang mudah meledak. Selain itu kerosin juga masih digunakan oleh masyarakat yang masih tinggal di daerah tertentu. Tetapi dari segi temperatur, kerosin kurang menghasilkan panas yang tinggi dibandingkan dengan LPG. Untuk itu peneliti menambahkan gas HHO sebagai adiktif dan penyuplai oksigen agar temperatur yang dicapai bisa maksimal dan pembakaran yang dihasilkan lebih sempurna jika dibandingkan dengan kerosin murni saja. Peneliti menggunakan kerosin produksi dari PT. Pertamina dengan variasi jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam *mixing chamber* mulai dari kerosin murni, kerosin bukaan katup 25% + gas HHO, dan kerosin bukaan katup 50% + gas HHO.

Berdasarkan latar belakang di atas, peneliti bermaksud mengkomparasikan distribusi temperatur nyala api dengan bahan bakar kerosin murni dan *mixing* kerosin + gas HHO dengan harapan didapatkan pola bidang – bidang temperatur yang digunakan secara radiasi untuk ruang – ruang pemanas yang membutuhkannya.



## 1.2 Perumusan Masalah

Dengan adanya penelitian tentang gas HHO ini, terdapat beberapa masalah yang timbul dan perlu dicari solusi pemecahannya:

1. Bagaimana temperatur, panjang nyala api, daya *blow-torch*, dan radiasi api *blow-torch* dengan bahan bakar kerosin murni dan *mixing* kerosin + gas HHO?
2. Bagaimana profil struktur api dan distribusi temperatur nyala api *blow-torch*?
3. Bagaimana hasil studi komparasi distribusi temperatur nyala api pada *blow-torch* dengan bahan bakar kerosin murni dan *mixing* kerosin + gas HHO?

## 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini bersifat eksperimental. Untuk itu pengujian yang dilakukan tidak terlalu melebar dari tujuan yang hendak dicapai. Oleh karenanya ditentukan batasan masalah, antara lain:

1. *Blow-torch* yang digunakan adalah *blow-torch* berbahan bakar kerosin buatan peneliti.
2. Bahan bakar yang digunakan adalah kerosin yang ada di pasar Indonesia dan dikeluarkan oleh Pertamina.
3. Struktur kimia dari bahan bakar tidak termasuk dalam pembahasan.
4. Generator yang digunakan adalah generator buatan peneliti.
5. Gas HHO yang dimasukkan ke dalam *blow-torch* dianggap sebagai suplemen/aditif.
6. Tidak membahas mengenai reaksi elektrolisa dan reaksi kimia dari proses generator Brown's Gas secara detail.
7. Hanya membahas perpindahan panas secara radiasi yang terjadi pada api hasil pembakaran.
8. Kondisi suhu dan kelembaban udara dianggap tetap.



#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan utama yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui temperatur, panjang nyala api, daya *blow-torch*, dan radiasi api *blow-torch* dengan bahan bakar kerosin murni dan *mixing* kerosin + gas HHO.
2. Mengetahui profil struktur api dan distribusi temperatur nyala api *blow-torch*.
3. Mengetahui hasil studi komparasi distribusi temperatur nyala api pada *blow-torch* dengan bahan bakar kerosin murni dan *mixing* kerosin + gas HHO.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Pemanfaatan gas HHO sebagai campuran bahan bakar kerosin untuk mendapatkan distribusi temperatur nyala api *blow-torch*.
2. Pemanfaatan gas HHO sebagai bahan bakar *renewable* dan penghemat bahan bakar utama.
3. Pemanfaatan gas HHO sebagai bahan bakar yang efisien dan menguntungkan serta ramah lingkungan.

#### 1.6 Sistematika

Sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut:

##### BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian ini diuraikan latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

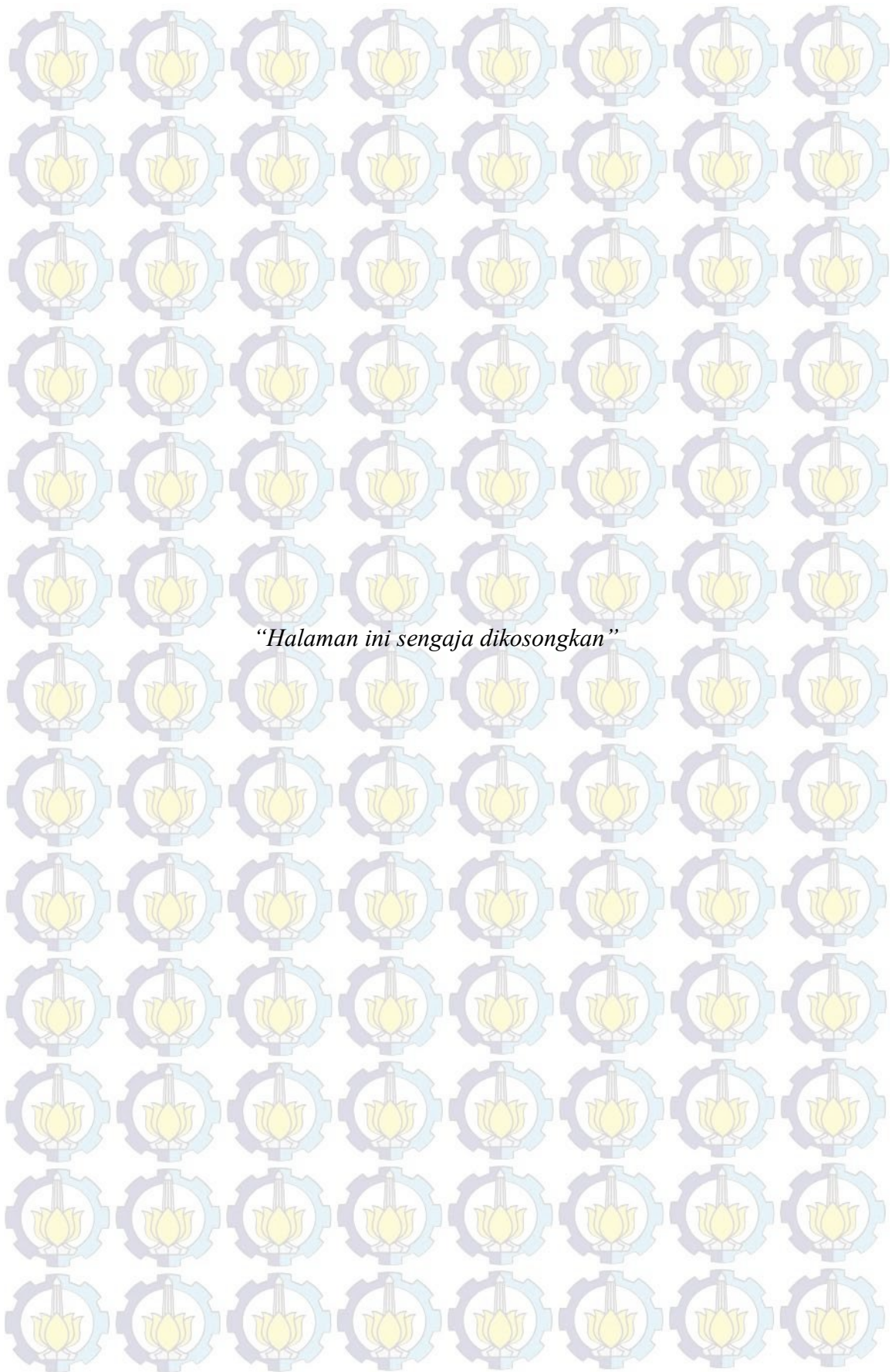
##### BAB II DASAR TEORI

Pada bagian ini diuraikan beberapa landasan teori dan hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan karakteristik api.

##### BAB III METODE PENELITIAN

Pada bagian ini akan diuraikan metode penelitian, spesifikasi peralatan yang akan dipakai dalam pengujian, cara pengujian, dan data yang diambil.





## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 *Blow-torch*

*Blow-torch* merupakan salah satu jenis dari burner yang prinsip kerjanya seperti kompor tekan yang berbahan bakar cair atau gas. *Blow-torch* memiliki komponen – komponen sebagai berikut:

1. Tabung *reservoir*

Berfungsi untuk menampung bahan bakar utama, terbuat dari pipa besi.

2. *Pressure gauge*

Berfungsi sebagai penunjuk besar tekanan dalam tabung.

3. *One-way valve*

*one-way valve* bisa menggunakan *valve* ban sepeda motor untuk memasukkan udara dari kompresor sehingga tekanan di dalam tabung naik.

4. *Inlet port*

Berfungsi untuk saluran pemasukkan bahan bakar ke dalam tabung *reservoir*.

5. Pipa Spiral

Berfungsi untuk menyalurkan bahan bakar dari tabung *reservoir* menuju ejektor. Selain itu sebagai tempat untuk mengubah bahan bakar cair yang dipanaskan menjadi butiran uap. Pipa spiral ini terbuat dari pipa kuningan agar mudah dibentuk menjadi spiral.

6. Ejektor

Ejektor merupakan *mixing device* dengan menggunakan *motive fluid* berkecepatan tinggi yang menimbulkan efek vakum.

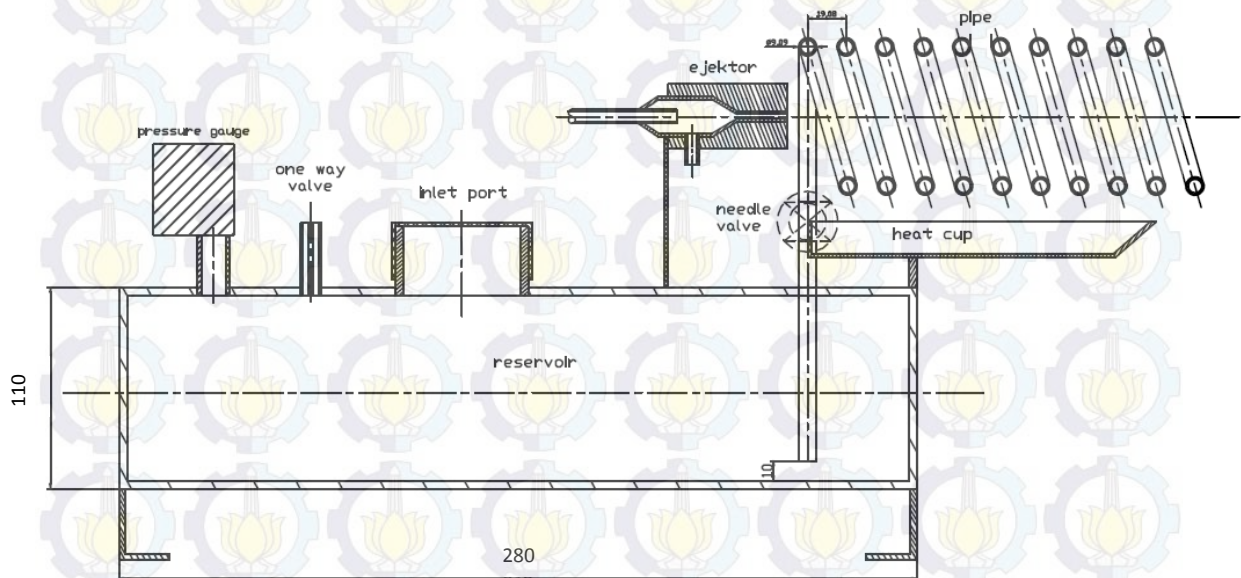
7. *Heat Cup*

Berfungsi sebagai pemanas awal sebelum *blow-torch* dinyalakan. Selain itu agar bahan bakar cair yang berasal dari tabung *reservoir* bisa menjadi butiran uap.



## 8. Needle Valve

Berfungsi untuk mengatur banyak sedikitnya jumlah bahan bakar yang masuk ke pipa.



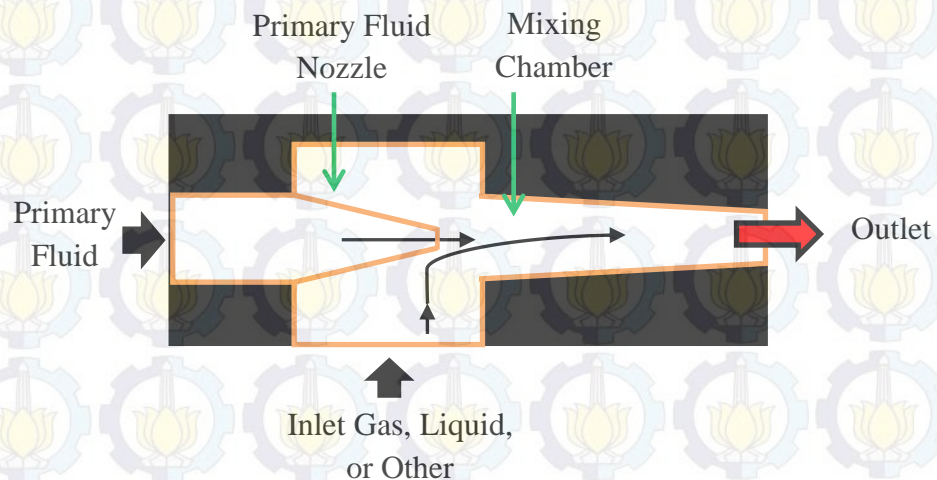
Gambar 2.1. Proyeksi 2D *blow-torch*

Prinsip kerja *blow-torch* yang diproyeksikan seperti pada gambar 2.1 yaitu bahan bakar di dalam tangki bahan bakar diberi tekanan dari kompresor sebesar 0,4 MPa. Kemudian bahan bakar akan mengalir melalui pipa spiral kuning menuju ejektor. Selama mengalir di dalam pipa spiral, bahan bakar akan teratomisasi dari cair menjadi butiran uap karena pipa spiral dipanaskan oleh *heat cup*. Bahan bakar yang masuk ke dalam ejektor sudah berbentuk butiran gas yang bertekanan dan bertemperatur tinggi. Di dalam ejektor terdapat *mixing chamber* untuk pencampuran bahan bakar secara difusi yang kemudian akan disemprotkan oleh *nozzle* untuk siap di bakar.

## 2.2 Prinsip Ejektor

Ejektor merupakan *mixing device* dengan menggunakan *motive fluid* berkecepatan tinggi yang menimbulkan efek vakum. Ejektor adalah pompa dinamik yang tidak memiliki bagian yang bergerak, memiliki konstruksi yang relatif sederhana dan mudah dalam perawatan. Prinsip kerja sebuah ejektor yang

ditunjukkan pada gambar 2.2 adalah dimulai dengan uap bahan bakar bertekanan dan temperatur tinggi dari tabung *reservoir* (disebut dengan *primary fluid*) masuk ke *primary nozzle* dan keluar mencapai kecepatan *supersonic* sehingga akan menarik *secondary fluid* yang bertekanan dan temperatur rendah dari *suction chamber* bercampur di *mixing chamber*, kemudian akan disemprotkan oleh *nozzle*.



Gambar 2.2. Prinsip Kerja Ejektor

### 2.3 Bahan Bakar

Saat ini bahan bakar yang paling banyak digunakan untuk kebutuhan pembakaran adalah senyawa – senyawa hidrokarbon. Untuk memudahkan klasifikasi, bahan bakar digolongkan menjadi tiga bagian yaitu bahan bakar padat, cair dan gas. Reaksi pembakaran terjadi pada fase gas, baik untuk bahan bakar padat ataupun cair.

Secara umum pembakaran bahan bakar cair terjadi dalam beberapa fase, yaitu :

1. Fase persiapan, yaitu fase dimana bahan bakar mengalami pemanasan awal untuk mempersiapkan fase berikutnya. Pada fase ini energi panas dari hasil reaksi digunakan untuk memanaskan bahan bakar dari cair sampai mencapai *boiling point*.
2. Fase penguapan, yaitu fase dimana bahan bakar cair akan menguap karena terpanasi menjadi berbentuk gas dan masih dalam keadaan terikat (ikatan



- kimia). Setelah mencapai *boiling point*, energi panas hasil reaksi sebagian digunakan untuk mengubah fase bahan bakar menjadi gas/uap agar dapat bercampur dengan oksigen yang juga dalam fase gas.
3. Fase pencampuran, yaitu fase dimana uap bahan bakar bercampur dengan udara. Diharapkan agar pembakaran berlangsung secara sempurna, untuk itu molekul uap bahan bakar harus dapat bercampur secara homogen dengan molekul udara (oksigen).
  4. Fase reaksi, dalam fase ini akibat temperatur yang tinggi akan menyebabkan campuran bahan bakar dan udara terbakar dan diharapkan pembakaran berlangsung sempurna sehingga tidak ada campuran bahan bakar dan udara yang tidak terbakar yang dapat mengakibatkan polusi dan jelaga.

### 2.3.1 Bahan Bakar Kerosin (Minyak Tanah)

Bahan bakar burner yang selama ini digunakan masyarakat berupa bahan bakar cair, salah satunya adalah kerosin. Kerosin yang dijual bebas di Indonesia memiliki karakteristik seperti pada tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Karakteristik Bahan Bakar Kerosin

No	Karakteristik	Nilai
1	<i>Specific Gravity</i> (60/60)°F	0.835
2	Titik nyala [F]	105
3	Nilai Kalor Bawah [Kj/Kg]	43650
4	Nilai Kalor Atas [KJ/Kg]	46581
5	<i>Smoke Point</i> (mm)	16

Sumber: Dirjend Migas, (2006), *Standard dan Mutu (spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Kerosin yang Dipasarkan Dalam Negeri*

#### 2.3.1.1 Atomisasi Kerosin

Pada proses pembakaran kerosin, langkah pertama adalah menguapkan campuran kerosin - udara. Teknik atomisasi dapat digunakan untuk keperluan itu. Penguapan kerosin - udara dapat dilakukan dengan membuat

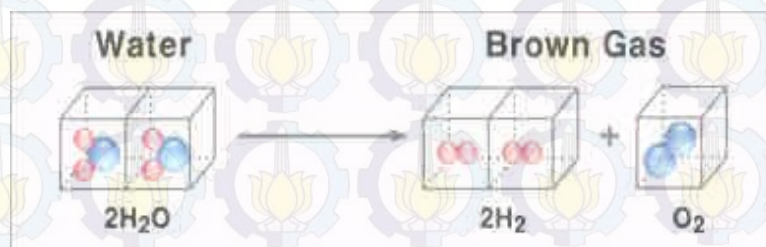
butiran cairan yang halus di dalam fasa gas yang disebut dengan proses atomisasi atau pengabutan. Dengan semakin kecil ukuran butir cairan, maka proses penguapan akan semakin cepat, dan luas permukaan akan meningkat, mengakibatkan semakin banyak luas permukaan bahan bakar cair yang kontak dengan udara. Proses pengabutan ini dapat dicapai dengan memberikan tekanan dan panas pada kerosin.

#### 2.3.1.2 Pengaruh Tekanan Terhadap Proses Atomisasi

Tekanan berpengaruh secara langsung pada proses atomisasi khususnya laju aliran. Laju aliran berhubungan langsung dengan besar butir. Tekanan mempunyai hubungan terbalik dengan besar butir. Naiknya tekanan akan memperkecil besar butir, sedangkan penurunan tekanan akan memperbesar besar butir.

#### 2.3.2 Brown's Gas (Hidrogen Hidrogen Oksida, HHO)

*Brown Gas* merupakan gas hasil dari proses pemecahan air murni ( $H_2O$ ) dengan proses elektrolisis. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air tersebut adalah gas Hidrogen dan Oksigen, dengan komposisi 2 Hidrogen dan 1 Oksigen (HHO) (Lowrie, Peter E.W. 2005). Oleh karena itu Brown's gas juga lebih dikenal dengan nama gas HHO, selain itu gas HHO juga dikenal dengan sebutan oxy-hydrogen.



Gambar 2.3 Proses pemecahan molekul air menjadi Gas HHO (Lowrie, Peter E.W. 2005).

Teknologi untuk memecah molekul air menjadi gas HHO dengan cara elektrolisis air seperti pada gambar 2.3 sebenarnya telah ditemukan sejak tahun



1800 oleh William Nicholson dan Johann Ritter. Kemudian pada tahun 1805, Isaac de rivaz (1752-1828) menggunakan gas hidrogen dari hasil elektrolisis air sebagai bahan bakar mesin pembakaran internal yang ia rancang dan ia buat sendiri (Hidayatullah ,P dan Mustari,F. 2008). Pada saat itu bahan bakar fosil belum ditemukan. Namun gas hasil dari elektrolisis air tersebut baru diberi nama dan dipatenkan oleh Dr. Yull Brown, pada tahun 1974. Gas hasil dari elektrolisis air tersebut diberi nama *Brown gas*. Selain menggunakannya sebagai suplemen bahan bakar pada mesin, Dr. Yull Brown juga menggunakan *brown gas* untuk pengelasan (*cutting and welding torch*).

Pada prinsipnya air memang dapat diubah menjadi hidrogen dengan teknik elektrolisis dan gas hidrogen digunakan sebagai bahan bakar. Gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% H<sub>2</sub> di udara bebas. Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia:



Ketika dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen meledak ketika disulut dengan api dan akan meledak sendiri pada temperatur 858°K.

Pada tabel 2.2 memperlihatkan perbandingan properties kerosin dan hidrogen:

Tabel 2.2 Perbandingan Properties Kerosin dan Hidrogen:

No	Properties	Kerosin*	Hidrogen <sup>^</sup>
1	<i>Specific Gravity</i> (60-70)°F	0.835	0.0696
2	<i>Auto-ignition temperature</i> °F	428	1058
3	<i>Low Heating Value</i> [Kj/Kg]	43 650	13 325
4	<i>High Heating Value</i> [KJ/Kg]	46 581	14 780
5	<i>Density</i> [kg/m <sup>3</sup> ]	780 – 810	0.491167

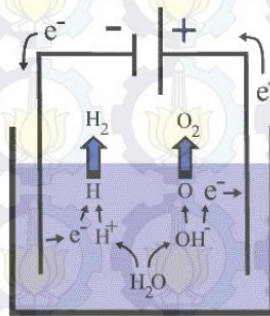
Sumber : \* Dirjend Migas, (2006), *Standard dan Mutu (spesifikasi) Bahan Bakar*

*Minyak Jenis Kerosin yang Dipasarkan Dalam Negeri*

<sup>^</sup> Universal Industrial Gases, Inc. Universal Cryo Gas, LLC

### 2.3.3 Proses Elektrolisa Air untuk Memproduksi Gas HHO

Elektrolisis adalah suatu proses untuk memisahkan senyawa kimia menjadi unsur-unsurnya atau memproduksi suatu molekul baru dengan memberi arus listrik. Sedangkan elektrolisis air adalah proses elektrolisa yang dimanfaatkan untuk memecah molekul air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) menjadi Hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dan Oksigen ( $\text{O}_2$ ). Elektrolisis air pada dasarnya dilakukan dengan mengalirkan arus listrik ke air melalui dua buah elektroda (Katoda dan Anoda). Agar proses elektrolisa dapat terjadi dengan cepat maka air tersebut dicampur dengan elektrolit sebagai katalis seperti ditunjukkan gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema elektrolisa air murni (Dopp, R.B.2007)

Proses elektrolisis air dapat terjadi dengan setengah reaksi asam ataupun basa ataupun keduanya. Terjadinya reaksi asam ataupun basa tergantung oleh kondisi lingkungan atau jenis elektrolit yang digunakan (Dopp, R.B.2007). Jika elektrolit yang digunakan berupa larutan asam seperti  $\text{HCl}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  maka reaksi yang terjadi adalah reaksi asam. Pada reaksi ini reaksi reduksi terjadi pada elektroda negatif (katoda), dimana elektron ( $e^-$ ) dari katoda diikat oleh kation  $\text{H}^+$  untuk membentuk gas Hidrogen ( $\text{H}_{2(g)}$ ). Sedangkan pada elektroda positif (anoda), molekul  $\text{H}_2\text{O}$  kehilangan elektron ( $e^-$ ) sehingga terpecah menjadi gas Oksigen ( $\text{O}_{2(g)}$ ) dan kation  $\text{H}^+$ .

Reaksi reduksi di katoda (-) :  $2 \text{H}^+_{(aq)} + 2 e^- \rightarrow \text{H}_{2(g)}$

Reaksi oksidasi di anoda (+) :  $2 \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{O}_{2(g)} + 4 \text{H}^+_{(aq)} + 4 e^-$

Reaksi keseluruhan :  $2 \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow 2 \text{H}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)}$



Jika elektrolit yang digunakan adalah larutan basa seperti KOH, NaOH (basa dari golongan periode IA, alkali tanah) maka akan terjadi reaksi basa. Pada reaksi basa, reaksi reduksi terjadi di katoda dimana molekul air mengikat elektron ( $e^-$ ) sehingga terpecah menjadi gas Hidrogen ( $H_{2(g)}$ ) dan anion  $OH^-$ . Anion  $OH^-$  tersebut kemudian tertarik kesisi anoda dan terpecah menjadi gas oksigen dan molekul  $H_2O_{(l)}$ , sebagaimana dapat dilihat pada persamaan reaksi kimia berikut:

Reaksi reduksi di katoda (-) :  $2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)} + 2OH^-_{(aq)}$

Reaksi oksidasi di anoda (+) :  $4OH^-_{(aq)} \rightarrow O_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 4e^-$

Reaksi keseluruhan :  $2H_2O_{(l)} \rightarrow 2H_{2(g)} + O_{2(g)}$

Tetapi jika elektrolit yang digunakan dari jenis garam seperti NaCl, KCl, dan  $Na_2CO_3$ , maka akan terjadi reaksi asam dan basa. Dari kedua reaksi asam ataupun basa dapat dilihat bahwa pada kedua reaksi tersebut produk yang dihasilkan dari elektrolisa 2 mol  $H_2O$  memiliki komposisi yang sama yaitu 2 mol gas Hidrogen dan 1 mol gas Oksigen. Pada kedua jenis reaksi diatas gas Hidrogen juga dihasilkan pada elektroda negatif (katoda) dan gas oksigen dihasilkan pada elektroda positif (anoda).

### 2.3.3.1 Mass Flowrate Gas HHO

Produk utama proses elektrolisa air dengan menggunakan generator HHO adalah gas HHO. Sehingga untuk mengetahui seberapa baik kerja dari generator HHO, maka perlu diketahui seberapa banyak gas HHO yang dihasilkan oleh generator itu sendiri.

Untuk menghitung *mass flowrate* gas HHO dapat dicari dengan persamaan

2.1 berikut :

$$\dot{m} = Q \times \rho \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana :  $\dot{m}$  = Mass Flowrate Gas HHO (Kg/s)

$Q$  = Debit Produksi gas HHO ( $m^3/s$ )

$\rho$  = Massa Jenis HHO ( $Kg/m^3$ )

Debit produksi gas HHO didapatkan dari hasil pengukuran rotameter.



Dari persamaan kimia reaksi elektrolisis air berikut ini dapat dihitung seberapa besar kandungan massa H<sub>2</sub> dalam gas HHO. Jika massa H<sub>2</sub>O yang dielektrolisis sebanyak 1 kg, maka massa produk total H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> juga 1 kg, sehingga jika diketahui Mr H<sub>2</sub>O=18, Mr H<sub>2</sub>=2, Mr O<sub>2</sub>=32, maka didapatkan mole H<sub>2</sub> :



$$\text{mol} = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dari perbandingan mol pada persamaan reaksi kimia elektrolisis air dapat dihitung berapa massa H<sub>2</sub> dalam 1 kg gas HHO, yaitu:

$$m_{\text{H}_2} = \text{MrH}_2 \times \text{mol} = 2 \times \frac{1\text{kg}}{18} = \frac{1}{9} \text{kg}$$

Jika pada STP massa jenis H<sub>2</sub> diketahui sebesar ρ<sub>H2</sub>= 0,08235 gr/Ltr dan O<sub>2</sub> sebesar ρ<sub>O2</sub> = 1,3088 gr/Ltr (Cole Parmer Instrument, 2005), maka ρ<sub>HHO</sub> dapat dicari penurunan persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{HHO}} &= \frac{m_{\text{HHO}}}{V_{\text{HHO}}} = \frac{(m_{\text{H}_2} + m_{\text{O}_2})}{V_{\text{HHO}}} \\ &= \frac{(\rho_{\text{H}_2} \cdot V_{\text{H}_2} + \rho_{\text{O}_2} \cdot V_{\text{O}_2})}{V_{\text{HHO}}} \\ &= \frac{(\rho_{\text{H}_2} \cdot \frac{2}{3} V_{\text{HHO}} + \rho_{\text{O}_2} \cdot \frac{1}{3} V_{\text{HHO}})}{V_{\text{HHO}}} = \frac{2}{3} \rho_{\text{H}_2} + \frac{1}{3} \rho_{\text{O}_2} \dots\dots\dots (2.3) \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{HHO}} = (2/3 \times 0.08235 \text{gr/L}) + (1/3 \times 1.3088 \text{gr/L}) = 0,491167 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

### 2.3.3.2 Nilai Kalor Bawah (NKB) gas HHO

Pada generator HHO hasil yang berguna adalah produk elektrolisis air berupa gas HHO. Gas HHO yang terdiri dari gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> mempunyai nilai kalor, sehingga dapat dimanfaatkan energi yang terkandung di dalamnya untuk



meningkatkan pembakaran. Karakteristik gas HHO yang cenderung memiliki karakteristik yang hampir sama dengan gas penyusunnya (gas H<sub>2</sub>), karena kandungan H<sub>2</sub> sebesar 2/3 volume gas HHO. Namun, nilai kalor pada umumnya mempunyai satuan energi persatuan massa. Gas H<sub>2</sub> mempunyai nilai kalor sebesar 119,93 kJ/gram (*O'Connor, 2006*). Sehingga untuk menghitung nilai kalor gas HHO harus diketahui terlebih dahulu perbandingan massa gas H<sub>2</sub> dalam gas HHO.

Dari persamaan kimia reaksi elektrolisis air berikut ini dapat dihitung seberapa besar kandungan massa H<sub>2</sub> dalam gas HHO. Jika massa H<sub>2</sub>O yang dielektrolisis sebanyak 1 kg, maka massa produk total H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> juga 1 kg, sehingga jika diketahui *M* (berat molekul) H<sub>2</sub>O = 18, *M* H<sub>2</sub> = 2, *M* O<sub>2</sub> = 32, maka didapatkan mol H<sub>2</sub> :



Dari perbandingan mole pada persamaan reaksi kimia elektrolisis air dapat dihitung berapa massa H<sub>2</sub> dalam 1 kg gas HHO, yaitu :

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{1\text{kg}}{18\text{ kg/kmol}} = 0,055\text{mol}$$

$$n_{\text{H}_2} = \frac{\text{Koef. H}_2}{\text{Koef. H}_2\text{O}} \times n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{2}{2} \times 0,055 = 0,055\text{mol}$$

$$m_{\text{H}_2} = n_{\text{H}_2} \times M_{\text{H}_2} = 0,055\text{mol} \times 2\text{kg/mol} = 0,111\text{ kg} \dots\dots\dots(2.4)$$

Jadi massa H<sub>2</sub> dalam gas HHO hanya sebesar 1/9 massa total gas HHO, maka NKB (nilai kalor bawah) gas HHO adalah 1/9 kali NKB gas H<sub>2</sub> yaitu = 1/9 x 119,93 kJ/g = 13,3250 kJ/g atau 13,3250 MJ/kg.

## 2.4 Reaksi Proses dan Pembakaran

Secara umum, pembakaran dapat didefinisikan sebagai proses atau reaksi oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar dan oksidator dengan menimbulkan panas atau nyala dan panas. Bahan bakar merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N) dan sulfur (S). Sementara



oksidator adalah substansi yang mengandung oksigen (misalnya udara) yang akan bereaksi dengan bahan bakar.

Dalam proses pembakaran fenomena- fenomena yang terjadi antara lain interaksi proses-proses kimia dan fisika, pelepasan panas yang berasal dari energi ikatan-ikatan kimia, proses perpindahan panas, proses perpindahan massa, dan gerakan fluida.

Pada reaksi pembakaran berlaku hukum kekekalan massa, sehingga massa dari reaktan sama dengan massa produk pembakaran. Total massa untuk masing-masing unsur yang bereaksi sebelum dan sesudah reaksi adalah sama meskipun masing-masing unsur memiliki rumus kimia yang berbeda.

Pada reaksi oksidasi yang berlangsung cepat dihasilkan sejumlah energi elektromagnetik (cahaya), energi panas, dan energi mekanik (suara). Sedangkan pada reaksi pembakaran yang lambat hanya dihasilkan sedikit energi panas. Untuk bahan bakar hidrokarbon gas hasil reaksi pembakaran berupa  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{N}_2$ .

Oksidasi pada unsur-unsur yang dapat terbakar dari bahan bakar menghasilkan pembebasan energi yang tergantung dari produk hasil pembakaran. Dua unsur utama yang dapat terbakar pada sebagian besar bahan bakar adalah karbon, hidrogen dan belerang. Belerang biasanya relatif sedikit menghasilkan energi dari proses pembakaran, tetapi merupakan penyebab utama timbulnya korosi dan pencemaran.

Suatu bahan bakar dinyatakan terbakar sempurna bila semua unsur karbon yang ada dalam bahan bakar terbakar seluruhnya menjadi karbon dioksida, dan semua unsur hidrogen terbakar menjadi uap air. Jika kondisi ini tidak dipenuhi maka pembakaran dikatakan tidak sempurna. Untuk mendekati pembakaran sempurna langkah yang biasa dilakukan dengan menambahkan udara (*excess air*), sehingga jumlah udara yang bereaksi lebih besar dari udara teoritis.

Pada reaksi pembakaran berlaku unsur kekekalan massa, sehingga massa dari reaktan sama dengan massa produk pembakaran. Total massa untuk masing-masing unsur yang bereaksi sebelum dan sesudah reaksi adalah sama meskipun masing-masing unsur memiliki rumus kimia yang berbeda.



### 2.4.1 Pembakaran Teoritis

Pembakaran teoritis adalah suatu reaksi pembakaran sempurna (*stoichiometric reaction*) dari suatu unsur yang mudah terbakar. Dalam pembakaran *stoichiometri*, bahan bakar hidrokarbon bereaksi dengan oksigen dalam jumlah tertentu untuk mengoksidasi semua karbon, hidrogen dan sulfur menjadi CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan SO<sub>2</sub>. Pada pembakaran teoritis ini akan dibutuhkan sejumlah udara minimal (teoritis) untuk pembakaran suatu bahan bakar (padat, cair, gas).

Reaksi pembakaran *stoichiometri* dari hidrokarbon menurut Turn (1996) dirumuskan dengan persamaan :



dimana :  $a = x + (y/4)$

Persamaan ini berlaku untuk komposisi udara 21% O<sub>2</sub> dan 79% N<sub>2</sub> dalam persen volume atau 23,15% O<sub>2</sub> dan 76,85% N<sub>2</sub> dalam persen massa.

### 2.4.2 Pembakaran Aktual

Di dalam pembakaran sebenarnya tidak seluruh unsur dalam bahan bakar terbakar sempurna. Pembakaran tidak sempurna terjadi karena elemen-elemen dari bahan bakar tidak teroksidasi secara sempurna. Sebagai contoh adalah pembakaran karbon (C), tidak seluruh karbon akan terbakar menjadi CO<sub>2</sub> tetapi terbakar menjadi CO atau dalam bentuk jelaga.

Dengan demikian maka terdapat kehilangan-kehilangan yang berupa kerugian panas yang seharusnya bisa dibebaskan dalam pembakaran karbon. Disamping itu, produksi karbon monoksida (CO) menimbulkan kontribusi terhadap pencemaran udara. Untuk mengurangi kerugian tersebut sampai pada tingkat yang minimal, maka perlu diberikan udara berlebih (*excess air*) pada sejumlah udara teoritis yang dipakai sehingga tersedia cukup oksigen untuk pembakaran. Penting untuk diperhatikan bahwa penggunaan udara berlebih juga akan membawa dampak kerugian panas sebagai akibat dari penyerapan panas oleh udara pembakar.



Dengan adanya udara berlebih maka jumlah udara sebenarnya (*actual air*) yang digunakan adalah :

$$m_{\text{udara kering (actual)}} = m_{\text{udara kering (minimum)}} + m_{\text{udara (lebih)}} \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana :

$$m_{\text{udara (lebih)}} = A\% \times m_{\text{udara kering (minimum)}}$$

$$A\% = \text{Prosentase udara lebih}$$

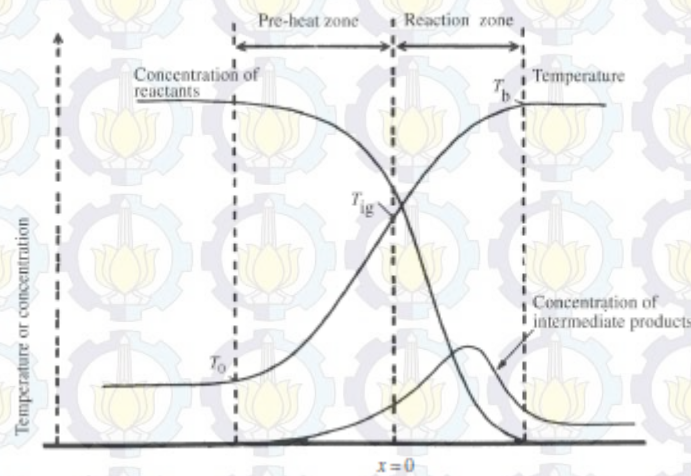
## 2.5 Teori Api

Menurut Turn (1996) definisi api adalah pengembangan sendiri yang bertahan pada suatu daerah pembakaran yang dilokalisasi pada kecepatan subsonik. Ada beberapa kata kunci pada definisi ini. *Pertama*, diperlukan api yang dilokalisasi, yaitu api menempati hanya bagian kecil dari campuran pembakaran pada satu waktu sembarang. Kata kunci *kedua* adalah subsonic. Gelombang pembakaran yang terpotong-potong (*discrete*) bergerak secara subsonic yang disebut dengan deflagrasi (pembakaran cepat).

### 2.5.1 Karakteristik Api

Api hidrokarbon dikarakteristikan oleh radiasinya yang tampak. Dengan *excess air*, daerah reaksi akan terlihat biru. Radiasi biru ini berasal dari eksitasi CH radikal di dalam daerah yang bertemperatur tinggi. Ketika udara berkurang sehingga kurang dari *stoichiometric*, daerah api akan terlihat biru-hijau. Radiasi biru-hijau ini berasal dari eksitasi C<sub>2</sub>. Dalam kedua jenis api tersebut, OH radikal juga memberikan kontribusi terhadap radiasi yang tampak. Jika api lebih kaya campurannya, jelaga akan terbentuk, diakibatkan oleh radiasi yang berwarna hitam. Meskipun radiasi jelaga mempunyai intensitas yang maksimal dalam infra merah, kepekaan spektrum pada mata manusia menyebabkan kita melihat cahaya kuning terang (mendekati putih) akibat pudarnya emisi orange, tergantung pada temperatur api.





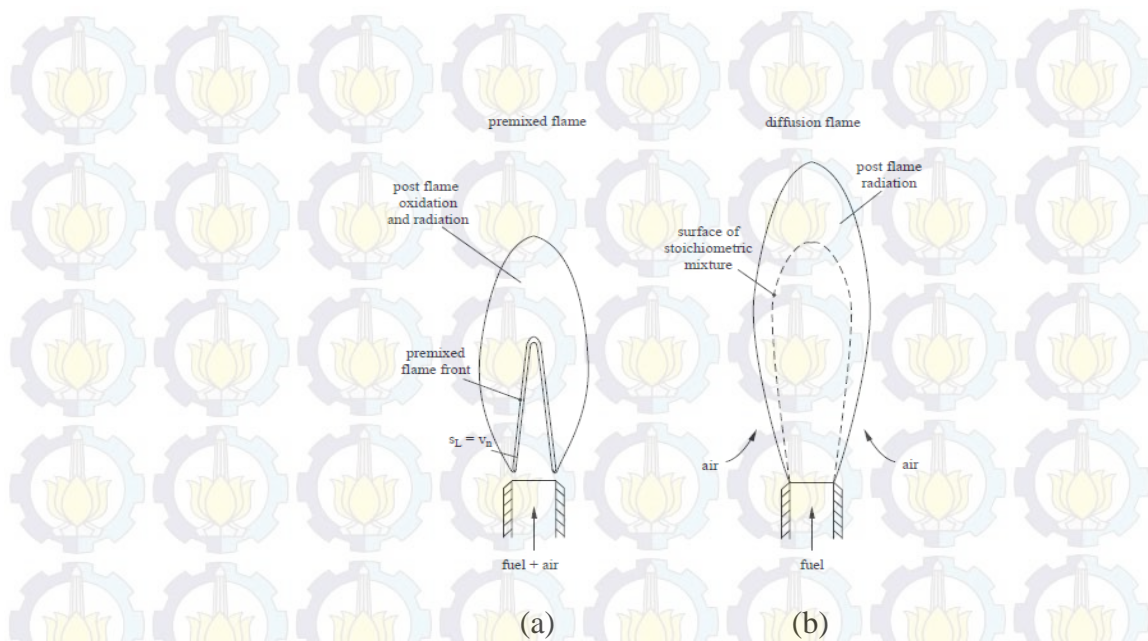
Gambar 2.5 Profil Temperatur Nyala Api (Drysdale, 2011)

Dari gambar 2.5 di atas terlihat bahwa nyala api dibagi dalam dua daerah, yaitu :

- Preheat Zone** : Daerah dimana temperature gas yang tidak terbakar meningkat sampai suatu nilai yang berubah-ubah, dan sedikit panas dilepaskan.
- Reaction Zone** : Daerah dimana pembakaran berlangsung dan sebagian besar energi kimia dibebaskan.

## 2.5.2 Klasifikasi Api

Menurut cara pencampuran dan reaksi (penyalaan) bahan bakar dan oxidizer, api dikategorikan menjadi *diffusion flame* dan *premixed flame*. *Premixed flame* adalah dimana bahan bakar dan udara bercampur sebelum terjadinya proses pembakaran. Sedangkan pada pembakaran *diffusion flame*, bahan bakar dan oksidan (udara) pada awalnya terpisah. Model pencampuran bahan bakar *diffusion flame* dan *premixed flame* seperti pada gambar 2.6 berikut:



Gambar 2.6 Model pencampuran (a) *Premix flame*, (b) *Diffusion flame*  
(Tjokowisastro, 1990)

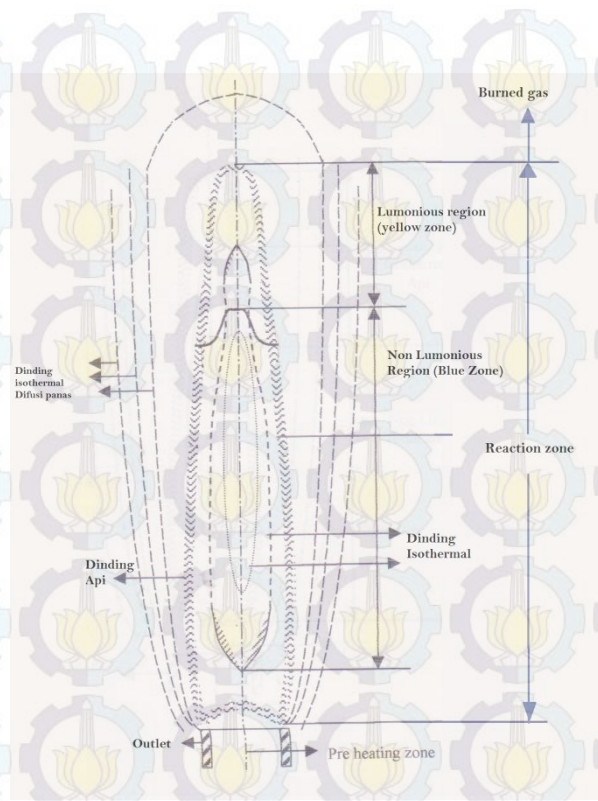
### 2.5.2.1 Premixed Flame

*Premixed flame* adalah dimana bahan bakar dan udara bercampur sebelum terjadinya proses pembakaran. Laju pengembangan api (kecepatan pembakaran) tergantung dari komposisi kimia dan laju reaksi kimia. Pada beberapa kasus sering dijumpai bahwa premixed flame memberikan indikasi warna nyala api yang pada umumnya biru. Contoh sederhana tentang *premixed flame* sering dijumpai pada *bunsen burner*.

Proses reaksi pembakaran dalam suatu nyala api adalah gabungan dari reaksi kimia, perpindahan panas, perpindahan massa dan momentum dengan difusi dan pola aliran sehingga bentuk dan ukuran nyala api dimensi satu dibagi menjadi empat daerah tahapan proses (Drysdale, 2011) yaitu:

- Daerah gas yang belum terbakar (*unburned gas zone*)
- Daerah pemanasan awal (*preheating zone*)
- Daerah reaksi (*reaction zone*)
- Daerah gas terbakar (*burned gas*)





Gambar 2.7 Pembagian zona api (Drysdale, 2011)

Pembagian zona api ditunjukkan pada gambar 2.7. Gas *premixed* yang akan berubah menjadi nyala api *premixed* memiliki kesamaan pada kecepatan, temperatur, dan konsentrasi dengan bentuk fisik yang tetap dalam daerah gas yang belum terbakar (*unburned gas zone*). Dalam daerah *preheating*, temperatur naik akibat konduksi energi panas dan pada daerah ini gas *premixed* menerima panas lebih besar dibandingkan daerah lain. Pada daerah *reaction*, sebagian besar hidrokarbon bereaksi, akibatnya laju reaksi dan temperature naik secara cepat. Daerah *burned gas* terjadi perubahan bentuk produk seperti CO dan H<sub>2</sub> menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dengan laju reaksi lebih lambat dan kenaikan temperatur yang rendah.

#### 2.5.2.2 Diffusion Flame (Non-premixed)

Pada pembakaran *diffusion flame*, bahan bakar dan oksidan (udara) pada awalnya terpisah. Proses pembakaran akan berlangsung pada daerah dimana bahan bakar dan udara kemudian bercampur. Aliran bahan bakar yang keluar dari ujung nosel akan bercampur dengan udara secara difusi. Jika diberi pengapian campuran ini akan terbakar bila konsentrasi bahan bakar dan udara terdapat dalam



jangkauan batas nyalanya. Munculnya nyala api akan bergantung pada sifat dari bahan bakar dan kecepatan bahan bakar terhadap udara di sekitarnya. Laju pencampuran bahan bakar dengan udara lebih rendah dari laju reaksi kimia. Nyala difusi pada suatu pembakaran cenderung mengalami pergerakan nyala lebih lama dan menghasilkan asap lebih banyak daripada nyala *premixed*.

Nyala api difusi memiliki karakteristik yang berbeda dengan nyala api *premixed*, yaitu laju pembakaran ditentukan oleh laju dimana bahan bakar dan oksidator dialirkan dalam ukuran yang tepat untuk reaksi. Sedangkan laju pembakaran untuk nyala api *premixed* ditentukan oleh laju pelepasan energi dan laju reaksi oksidasi yang telah tercampur sebelumnya antara bahan bakar dengan oksidator. Reaksi Antara bahan bakar dan udara pada nyala api difusi biasanya terjadi pada daerah temperature maksimum. Sedangkan pada nyala api *premixed* reaksi oksidasi terjadi sebelum daerah temperature maksimum. Laju konsumsi oksidator per bagian volume pada nyala api difusi seribu kali lebih sedikit dibanding nyala api *premixed*. Oleh karena itu, pada nyala api *premixed* terjadi pembakaran yang lebih sempurna. Ketika bahan bakar gas bercampur di dalam nyala api difusi dengan cara dialirkan ke atas, partikel gas akan mengalir ke sisi bagian luar sedangkan partikel oksidator akan mengalir ke sisi bagian dalam.

Nyala difusi dapat berupa nyala api laminar (*laminar flame*) atau nyala api turbulen (*turbulent flame*):

### **1. Laminar Flame**

Adalah kondisi dimana nyala api bersifat aliran laminar. Pada kondisi aliran ini, aliran dari gas terbakar mengikuti streamline aliran tanpa adanya diffusi turbulen di mana diffusi panas dan massa tergantung pada sifat molekul dari komponen gas.

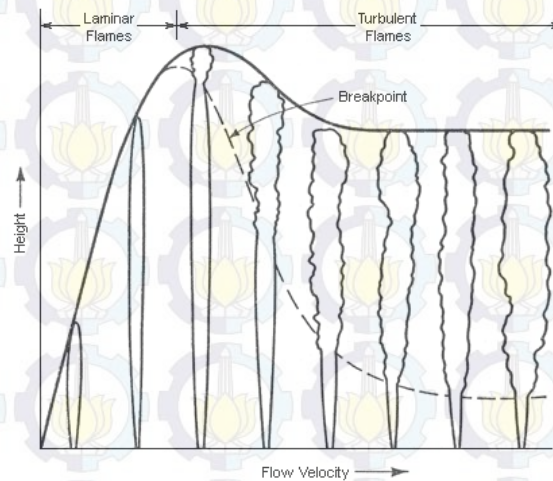
### **2. Turbulent Flame**

Adalah kondisi dimana nyala api mempunyai sifat aliran turbulen. Pada kondisi turbulen ini, gas terbakar dengan pola aliran secara acak. Besarnya tingkat keacakan tergantung pada skala dan intensitas turbulensinya.

Penambahan aliran udara membuat karakter api laminar berubah menjadi api turbulen. Selama periode transisi ini, bibir api menjadi turbulen sedangkan pangkalnya bertahan laminar. Penambahan yang lebih besar lagi pada kecepatan



aliran akan menghasilkan pengurangan panjang daerah laminar. Titik dimana aliran laminar berubah menjadi turbulen dinamakan *break point*. Jika *break point* mendekati nosel bahan bakar, panjang api dan panjang *break point* di atas nosel kelihatan tidak berubah. Penambahan kecepatan aliran hanya meningkatkan intensitas *noise*.



Gambar 2.8 *Laminar turbulent flame* (Drysdale, 2011)

Gambar 2.8 menunjukkan perubahan pada panjang dan posisi *break point* dengan penambahan kecepatan aliran. Dapat dilihat di gambar, selama di daerah laminar, panjang api meningkat hampir linier dengan penambahan kecepatan aliran. Panjang api berkurang pada daerah turbulen dan tidak tergantung pada kecepatan aliran. Panjang *break point* juga terlihat konstan setelah sebagian besar kecepatan aliran terus ditambah.

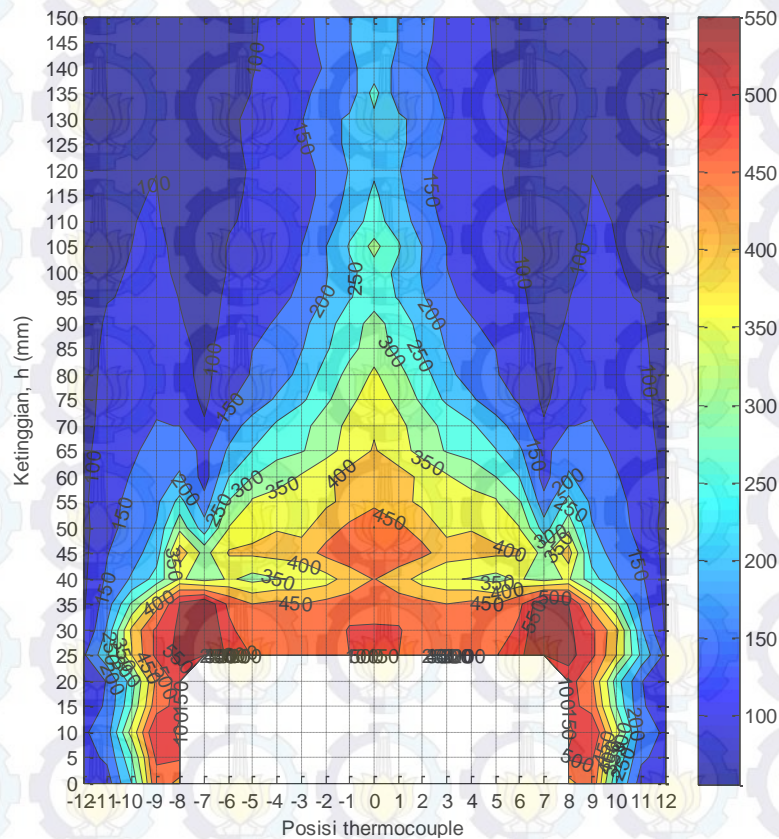
## 2.6 Distribusi Temperatur Api.

Distribusi temperatur api memiliki kualitas yang berbeda – beda antar nyala api yang dapat ditampilkan secara *isothermal* bidang sehingga akan terlihat pola bidang – bidang temperatur.

Untuk menganalisa distribusi temperatur dapat dilakukan berdasarkan luasan temperatur, sehingga nantinya dapat diketahui temperatur rata – rata pada ketinggian tertentu. Pendekatan dengan asumsi penampang temperatur api yang



dipotong melintang berbentuk bidang – bidang temperatur yang di plot menggunakan *software* ORIGIN 2015 adalah seperti gambar 2.9 di bawah:



Gambar 2.9 Contoh penampang melintang distribusi temperatur api (RR. Vienna Sonna Saputri Soetadi 2012)

Bidang warna - warna api di atas menunjukkan daerah temperatur rata – rata bidang *isothermal* dari api. Sehingga luasan temperatur api pada masing – masing ketinggian dapat diketahui.

Temperatur rata – rata setiap ketinggian dihitung dari jumlah luasan temperatur ( $A \times T$ )<sub>tot</sub> dibagi dengan luasan total ( $A_{tot}$ ) yang merupakan penjumlahan n daerah temperatur pada ketinggian tertentu.



$$T_{rata-rata} = \frac{(A \times T)_{tot}}{A_{tot}} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$\text{dimana : } A_{tot} = \sum_{i=1}^n [\pi (r_{o_i}^2 - r_{i_i}^2)] \dots \dots \dots (2.8)$$

$$(A \times T)_{tot} = \sum_{i=1}^n [\pi (r_{o_i}^2 - r_{i_i}^2) \times T_i] \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan:

$T_i$  = temperatur rata – rata pada garis – garis *isothermal*

## 2.7 Daya *Blow-torch*

Daya suatu *burner* berbanding langsung dengan konsumsi bahan bakar *burner* tersebut. *Burner* yang memiliki daya tinggi akan mengkonsumsi bahan bakar yang tinggi, sebaliknya *burner* dengan daya rendah akan mengkonsumsi bahan bakar yang rendah pula. Tingkat daya ini akan menunjukkan kapasitas suatu *burner* untuk mentransfer kerosin dari tangki kerosin ke ruang bakar melalui pipa - pipa. Besarnya daya *blow-torch* dihitung dengan persamaan:

$$P = \frac{m_f \times E}{t} \quad [kW] \quad (2.10)$$

yang mana :

$m_f$  = Konsumsi bahan bakar selama pengukuran (kg)

$E$  = Nilai kalor netto bahan bakar (kJ / kg)

$t$  = Waktu pengukuran (dtk)

## 2.8 Radiasi Api dari *Blow-torch*

Suatu energi dapat dihantarkan dari suatu tempat ke tempat lain dengan gelombang elektromagnetik dimana energi ini akan diubah menjadi panas jika energinya diserap oleh benda lain. Perpindahan panas dari benda yang mempunyai temperatur tinggi ke benda yang mempunyai temperatur lebih rendah disebut dengan perpindahan panas secara radiasi dan ini tidak memerlukan medium atau penghantar. Untuk dapat melakukan proses perpindahan panas ini diperlukan alat – alat perpindahan panas yang



bermacam – macam jenisnya diantaranya *Furnace* atau dapur dimana di dalamnya terdapat alat pemanas atau *burner*. Berdasarkan Turn (1996), radiasi nyala api dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_{rad} = a_p V_f \sigma T_f^4 \quad (2.11)$$

dimana :

$Q_{rad}$  = Perpindahan panas radiasi (W/m<sup>2</sup>)

$a_p$  = Koefisien absorpsi api, besarnya  $0 \leq \varepsilon \leq 1$

$V_f$  = Volume api (m<sup>3</sup>)

$\sigma$  = Konstanta Stefan Boltzman ( $5,67 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>)

$T_f^4$  = Temperatur api (K)

## 2.9 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Pada sub bab ini akan di tampilkan beberapa hasil penelitian-penelitian terdahulu yang dijadikan dasar pertimbangan dalam melakukan penelitian.

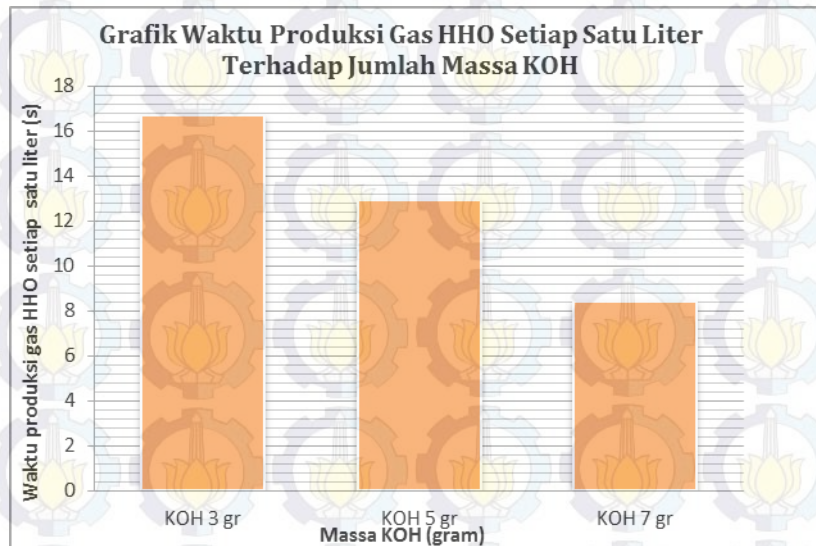
### 2.9.1 Djoko Sungkono (1997)

Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono K.,M.Eng.Sc. sebagai guru besar Teknik Mesin ITS mulai melakukan penelitian mengenai gas HHO pada tahun 1997. Dalam penelitiannya yang berlangsung sampai sekarang (generasi ke-8) telah banyak menghasilkan perbaikan dibidang HHO, salah satunya adalah pemilihan jenis air, tipe pelat, pemakaian PWM dan penggunaan jenis katalis. Sampai saat ini, jenis air yang paling bagus untuk proses elektrolisis air adalah air Aquades, untuk pelat digunakan jenis pelat *stainless steel* tipe 316L, sedangkan untuk katalis menggunakan Kalium Hidroksida (KOH). Dari tipe pelat yang digunakan dilakukan penelitian dengan variasi ukuran pelat untuk menghasilkan efisiensi yang paling tinggi.



## 2.9.2 Subairi Rizal (2014)

Penelitian yang dilakukan oleh Subairi Rizal (2014) tentang generator gas HHO *dry type* yang tersusun seri, tahap pertama pembuatan 4 generator HHO menggunakan pelat tipe SS 316L, ukuran 110mm x 110mm dengan 6 *cell* dan masing-masing *cell* menggunakan 4 pelat netral. Tahap kedua pengujian performa generator HHO dengan variasi KOH sebanyak 3 gram, 5 gram dan 7 gram pada setiap satu liter aquades. Selanjutnya hasil performa generator HHO dianalisa untuk mendapatkan laju produksi.



Gambar 2.10 Grafik Waktu Produksi Gas HHO Setiap Satu Liter Terhadap Jumlah Massa KOH (Subairi Rizal, 2014)

Dari gambar 2.10 di atas, grafik waktu produksi gas HHO setiap satu liter terhadap jumlah massa KOH diperoleh waktu produksi gas HHO pada elektrolit dengan kandungan massa KOH 3 gram memiliki waktu yang paling lama jika dibandingkan dengan elektrolit dengan kandungan massa KOH 5 gram dan 7 gram pada setiap satu liter aquades untuk mencapai produksi satu liter gas HHO, yaitu rata-rata selama 16,67 detik. Sedangkan elektrolit dengan kandungan massa KOH 5 gram pada setiap satu liter aquades memerlukan waktu rata-rata selama 12,89 detik untuk memproduksi satu liter gas HHO. Untuk elektrolit dengan kandungan massa KOH 7 gram pada setiap satu liter aquades mempunyai waktu



rata-rata paling cepat dibandingkan dengan elektrolit dengan kandungan massa KOH 3 gram dan 5 gram pada setiap satu liter aquades untuk mencapai produksi satu liter gas HHO yaitu selama 8,40 detik. Hal ini sesuai dengan analisa teori yaitu semakin besar massa KOH dalam larutan elektrolit, maka proses terjadinya elektrolisis menjadi lebih cepat sehingga waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi gas HHO akan semakin cepat yang akan berpengaruh terhadap nilai dari laju produksi gas HHO yang dihasilkan.

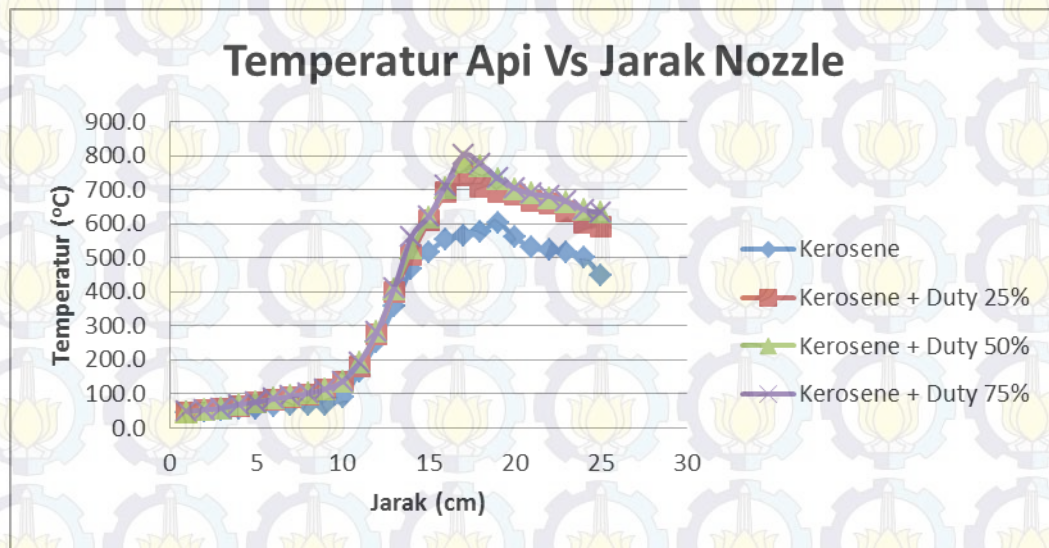
Berdasarkan penelitian tersebut, peneliti membuat generator HHO yang dapat memproduksi gas HHO minimal 1L/menit dengan KOH yang semakin banyak.

### **2.9.3 Brillyano Agni Pradipta (2013)**

Penelitian berjudul “ *Studi Eksperimen Pengaruh Pencampuran Gas Hidrogen Dari Generator HHO Tipe Kering Dengan Bahan Bakar Kerosene Pada Distribusi Temperatur Nyala Api Kompor Tekan Blow-torch*” ini dilakukan secara ekperimental.

Percobaan dilakukan di Lab. TPBB dengan tahapan pertama yaitu menghasilkan gas  $H_2$  dengan membuat generator HHO tipe kering menggunakan plat SS316L dan memakai PWM dengan dutycycle 25%,50%, dan 75%. Tahap kedua adalah menggabungkan *blow-torch* dan generator HHO dalam satu unit.Kerosene dan gas HHO digabungkan dengan cara difusi menggunakan ejektor. Sebagai variasi penelitian adalah pembakaran kerosene murni, kerosene dan gas HHO dari generator HHO dengan dutycycle 25%,50%, dan 75% sehingga dapat menghasilkan temperatur api terbaik dan daya terbaik dari blowtorch.





Gambar 2.11 Grafik temperatur api fungsi jarak nozzle (Brillyano Agni Pradipta, 2013)

Pada gambar 2.11, *blow-torch* berbahan bakar kerosin mencapai titik api tertinggi pada jarak 18cm dari nozzle dan setelah melewati titik puncak, temperatur api mengalami penurunan. Temperatur tertinggi pada pengujian *blow-torch* kerosin sebesar 602°C.

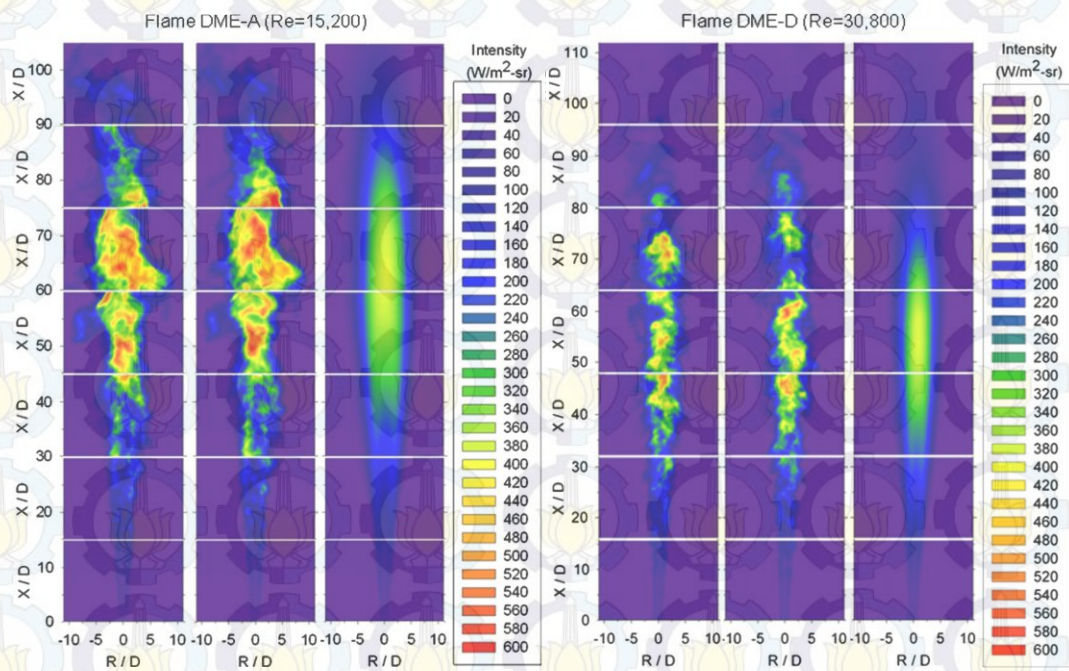
Hasil penelitian didapatkan *blow-torch* kerosin dengan penambahan gas HHO memiliki lidah api yang jauh lebih panas jika dibandingkan dengan kerosin murni. Penambahan daya oleh gas HHO sebesar 0,08% dari besarnya daya yg dihasilkan kerosin meningkatkan temperatur api lebih dari 100°C. Terjadi titik puncak api yang lebih maju pada campuran bahan bakar kerosin dengan gas HHO dibandingkan kerosin murni. Lebih sedikit jelaga yang terbentuk pada pembakaran bahan bakar campuran dibandingkan kerosin murni dan pembakaran yang terjadi lebih sempurna.

Berdasarkan penelitian tersebut, peneliti juga menggabungkan *blow-torch* dan generator HHO dalam satu unit. Sebagai variasi penelitian adalah jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam *mixing chamber* mulai dari kerosin murni, kerosin bukaan katup 25% + gas HHO, dan kerosin bukaan katup 50% + gas HHO.



#### 2.9.4 Rankin et al (2014)

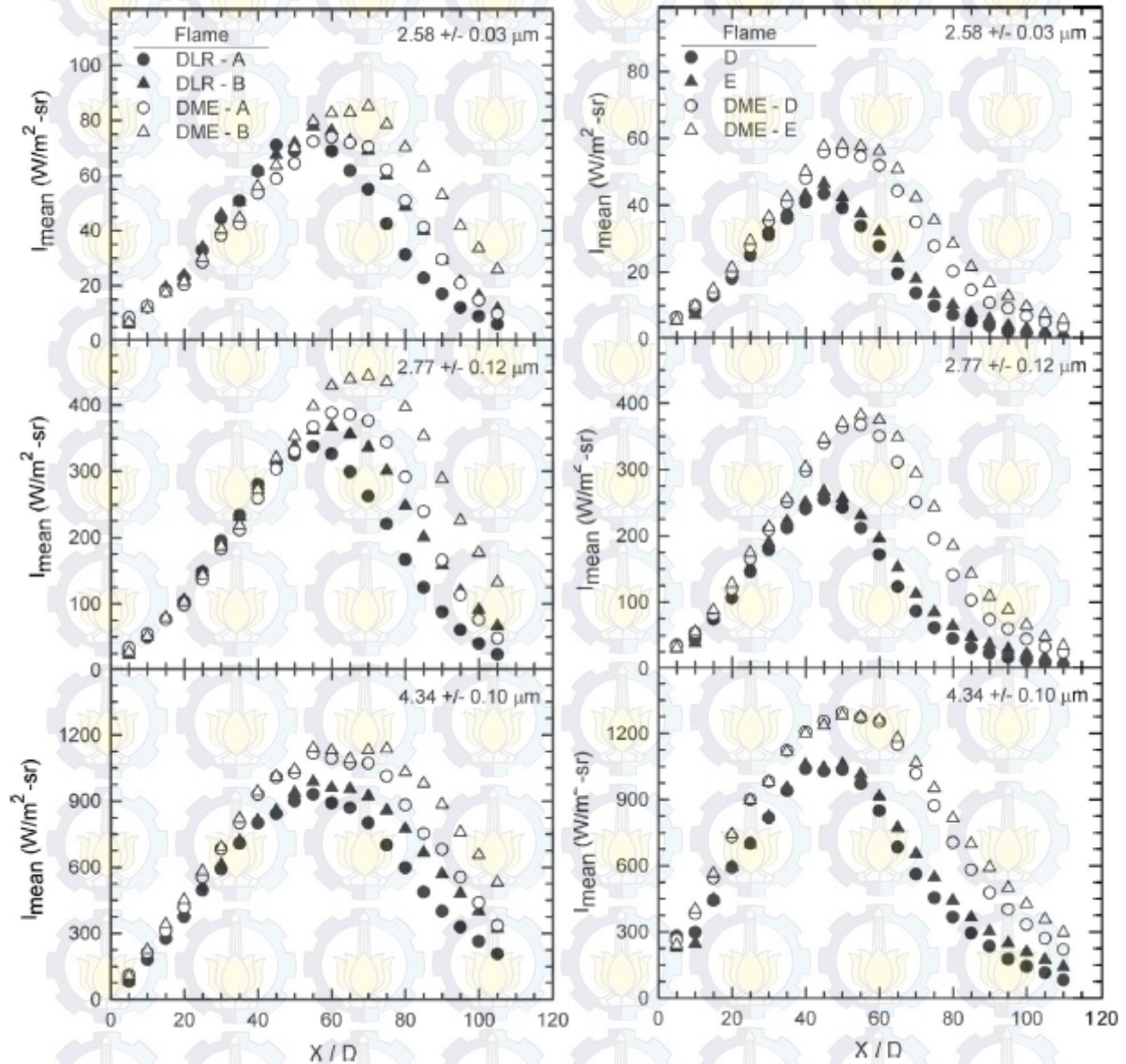
Penelitian dilakukan oleh Rankin et al yaitu tentang pengukuran intensitas radiasi metana dan dimetil eter pada *turbulent non-premixed* dan *partially premixed jet flames* jika ditambahkan  $H_2+N_2$  dan udara biasa. Bahan bakar yang digunakan untuk variasi adalah dua campuran *non-premixed*  $CH_4+H_2+N_2$  (DLR-A dan DLRB), dua campuran *non-premixed*  $C_2H_6O+H_2+N_2$  (DME-A dan DME-B), dua campuran *partially premixed*  $CH_4$ +udara (D dan E), dan dua campuran *partially premixed*  $C_2H_6O$ +udara (DME-D dan DME-E). Gambar-gambar dari intensitas radiasi diakuisisi menggunakan kamera inframerah *high speed* yang sudah dikalibrasi serta menggunakan *three band-pass filters*. Tujuannya adalah membandingkan intensitas radiasi dari api yang menggunakan bahan bakar metana dan DME untuk mengukur efek dari bahan bakar alternatif pada transfer radiasi.



Gambar 2.12 Intensitas radiasi untuk (a)  $C_2H_6O+H_2+N_2$  dan (b)  $C_2H_6O$ +udara setiap panjang api terhadap lebar api



Gambar 2.12 (a) memperlihatkan foto hasil infrared intensitas radiasi untuk bahan bakar  $C_2H_6O$  yang ditambah  $H_2+N_2$ , untuk yang gambar (b) bahan bakar  $C_2H_6O$  ditambah dengan udara biasa. Dari gambar itu dapat diketahui bahwa dengan penambahan  $H_2+N_2$  pada bahan bakar utama, intensitas radiasinya lebih besar daripada hanya menggunakan udara biasa.



Gambar 2.13 Intensitas radiasi rata-rata untuk (a)  $C_2H_6O+H_2+N_2$  dan (b)  $C_2H_6O$ +udara terhadap panjang api pada berbagai variasi  $\mu m$



Gambar 2.13 memperlihatkan intensitas radiasi rata-rata untuk bahan bakar  $C_2H_6O$  yang ditambah  $H_2+N_2$ , untuk yang gambar (b) bahan bakar  $C_2H_6O$  ditambah dengan udara biasa terhadap panjang api. Dapat dilihat dari gambar bahwa intensitas radiasi rata-rata meningkat seiring dengan panjang api sampai pada titik maksimal kemudian menurun.

Berikut merupakan tabel perbandingan hasil penelitian terdahulu beserta metode dan variasi penelitian yang ditunjukkan pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Perbandingan Hasil Penelitian Terdahulu

Nama	Judul	Metode	Variasi Penelitian	Hasil
Subairi Rizal (2014)	Generator Gas HHO Dry Type 6 Cell Tersusun Seri Dan Implementasi-nya Pada Dump Truck Nissan Diesel Cwa 211 NHRR-S 6925 Cc	Eksperimen	Variasi KOH sebanyak 3 gram, 5 gram dan 7 gram pada setiap satu liter aquades	Performa terbaik generator HHO dry type 6 cell adalah dengan kandungan massa KOH sebanyak 3 gram pada setiap satu liter aquades dengan laju produksi 3,6 liter/menit, efisiensi sebesar 88,37% daya rata-rata sebesar 762,06 watt dan temperatur elektrolit maksimal sebesar 58°C.
Brillya-no Agni Pradipta (2013)	Studi Eksperimen Pengaruh Pencampuran Gas Hidrogen Dari Generator HHO Tipe Kering Dengan Bahan Bakar Kerosin Pada Distribusi Temperatur Nyala Api Kompor Tekan <i>Blow-torch</i>	Eksperimen	Variasi memakai PWM dengan dutycycle 25%,50%, dan 75%	Blow-torch kerosin dengan penambahan gas HHO memiliki lidah api yang jauh lebih panas jika dibandingkan dengan kerosin murni. Penambahan daya oleh gas HHO sebesar 0,08% dari besarnya daya yg dihasilkan kerosin meningkatkan temperatur api lebih dari 100°C. Terjadi titik puncak api yang lebih maju pada campuran kerosin dengan gas HHO dibandingkan kerosin murni.



I Putu Ari Saputra (2014)	Studi Eksperimen Pengaruh Penambahan Gas HHO Dengan Bahan Bakar Kerosin Terhadap Distribusi Temperatur Nyala Api Kompor Tekan ( <i>Blow-torch</i> ) Dengan Menggunakan Generator Hho Tipe Kering	Eksperimen	Variasi KOH sebanyak 10 gram dan 20 gram pada setiap satu liter aquades	Performa generator HHO degan efisiensi tertinggi sebesar 86.01 % dengan menggunakan KOH sebesar 10 gram per liter aquades dan yang terendah didapat pada KOH sebesar 20 gran per liter aquades yaitu sebesar 79,36 %. <i>Blow-torch</i> dengan bahan bakar kerosin dan gas HHO memiliki temperatur lidah api yang lebih panas dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar kerosin murni. Besarnya daya yang dihasilkan oleh gas HHO serta besarnya daya yang dihasilkan kerosin meningkatkan temperatur lidah api sebesar lebih dari 300 °C
---------------------------	--	------------	---	---



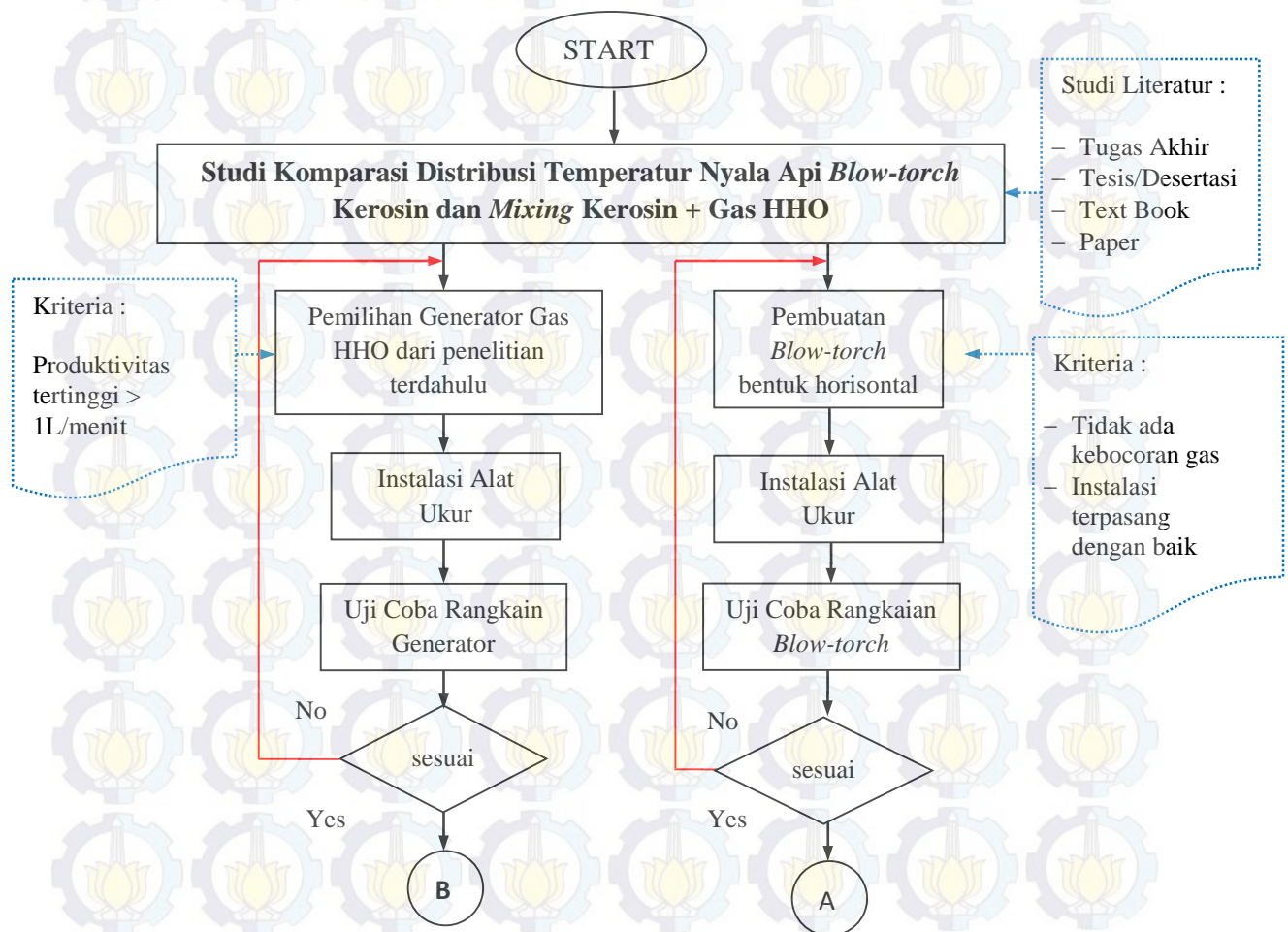
## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

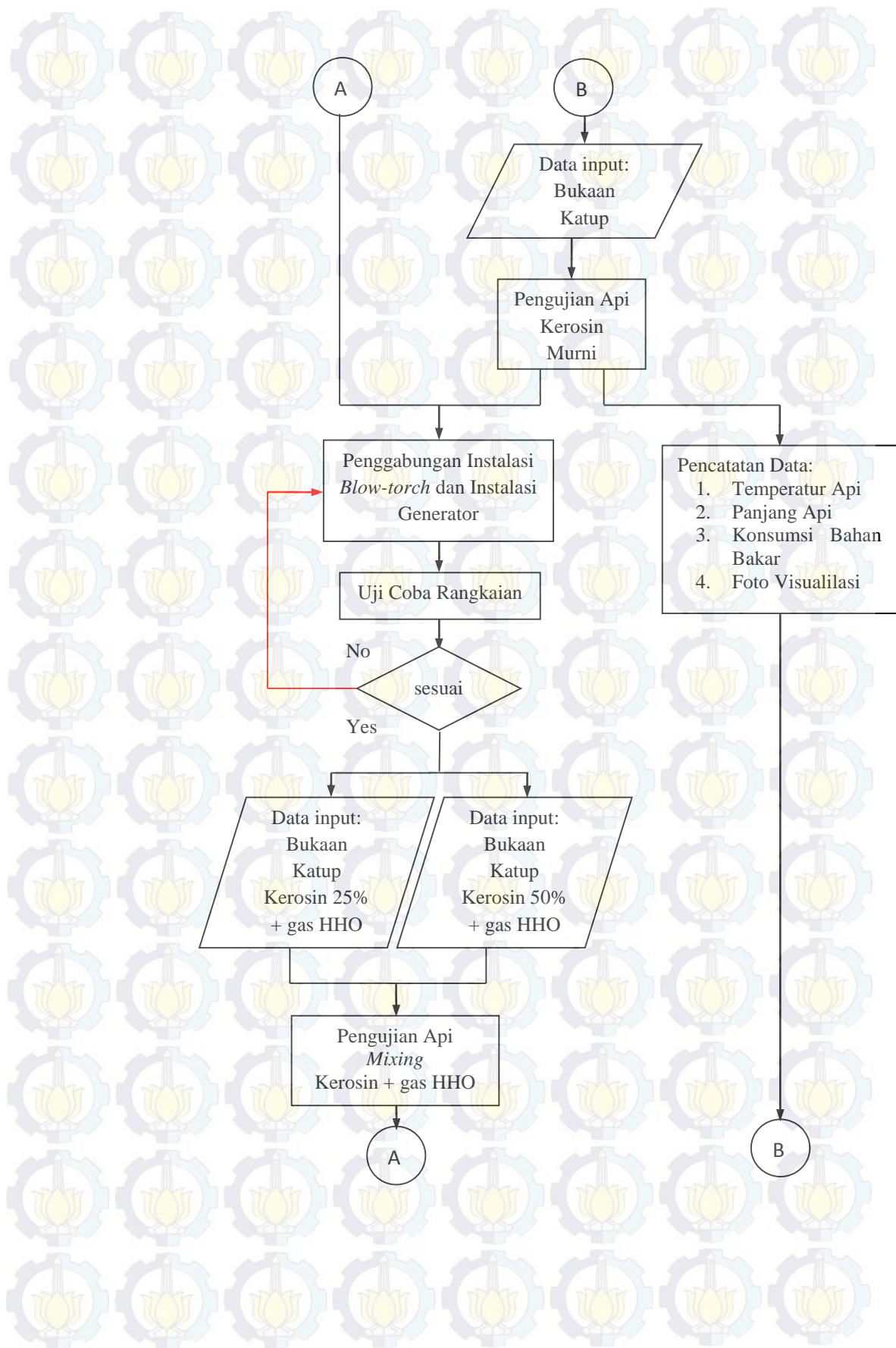
Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental untuk mengetahui hasil studi komparasi distribusi temperatur nyala api pada *blow-torch* dengan bahan bakar kerosin murni dan *mixing* kerosin + gas HHO yang meliputi temperatur api, panjang api, iso temperatur, daya pada *blow-torch* dan radiasi api *blow-torch*.

#### 3.1. Diagram Alir (Flowchart)

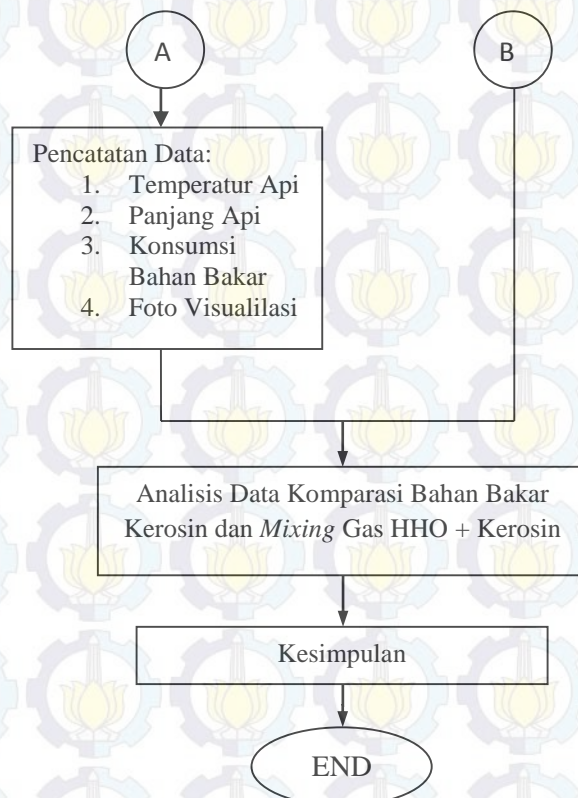
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri ITS. Flowchart penelitian ditunjukkan pada gambar 3.1.











Gambar 3.1 Diagram Alir (*flow chart*) Penelitian

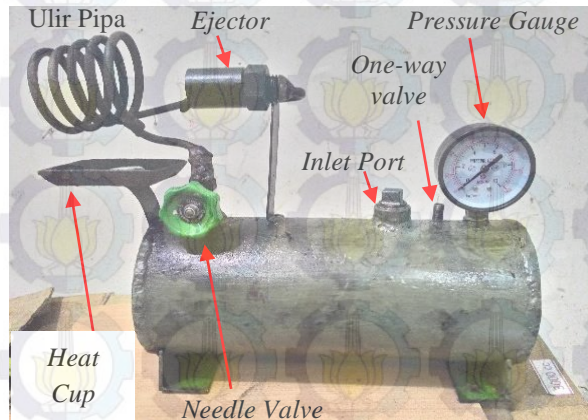
## 3.2. Peralatan Eksperimen

### 3.2.1. *Burner Uji*

*Burner* uji yang dipakai adalah *blow-torch* berbahan bakar kerosin buatan peneliti. *Blow-torch* ini terbuat dari pipa besi berdiameter 116 mm dan panjang 280 mm dengan tebal dinding 4 mm sebagai tabung reservoir bahan bakar kerosin. *Burner* ini dilengkapi *pressure gauge* sebagai penunjuk besar tekanan dalam tabung, *one-way valve* ban sepeda motor untuk memasukkan udara dari kompresor sehingga tekanan di dalam tabung naik, dan juga *inlet port* untuk saluran pemasukkan kerosin ke dalam tabung. Saluran keluar kerosin yang ditekan menggunakan pipa kuningan berdiameter 11 mm yang masuk hingga 10 mm di atas dasar tabung pipa besi dan dibuat berulir seperti pegas, ditunjukkan gambar 3.2, dan dilengkapi *needle valve* sebagai pengatur besarnya kerosin yang keluar. Di ujung dari pipa kuningan dipasang *nipple/nozzle* yang akan menaikkan kecepatan dari kerosin yang teratomisasi akibat panas dan tekanan. Di bawah ulir



pipa kuningan, dipasang *heating cup* sebagai pemanas awal ketika *blow-torch* mulai dinyalakan. *Burner* ini bekerja pada tekanan 0,4MPa. Gambar *blow-torch* ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 *Burner uji blow-torch* (dokumentasi)

### 3.2.2. Bahan Bakar

Bahan bakar yang dipakai dalam penelitian adalah kerosin produksi dari PT. Pertamina yang dipasarkan pada masyarakat Indonesia.

Untuk variasi pertama menggunakan kerosin murni dengan bukaan katup 100% atau bukaan penuh. Variasi kedua menggunakan kerosin bukaan katup 25% atau bukaan katup  $\frac{1}{4}$ , dicampur secara *premix* dengan gas HHO yang laju produksinya 2,3 L/menit. Sedangkan variasi ketiga menggunakan kerosin bukaan katup 50% atau bukaan katup  $\frac{1}{2}$ , dicampur secara *premix* dengan gas HHO yang laju produksinya 2,3 L/menit.

### 3.2.3. Generator HHO

Generator HHO yang digunakan pada penelitian ini adalah buatan peneliti. Generator ini merupakan tipe kering, terbuat dari material SS 316L dengan ukuran pelat 150 mm x 150 mm terdiri dari 1 *cell* menggunakan 4 pelat netral. O-ring yang diletakkan antar plat berbahan karet dengan ketebalan 2,5 mm. Sebagai katalisnya, dalam 1 liter air aquades dicampur dengan 12 gram KOH.



Gambar generator HHO ditunjukkan pada gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3 Generator HHO Tipe Kering (dokumentasi)

Komponen generator HHO tipe kering:

1. Plat Acrylic

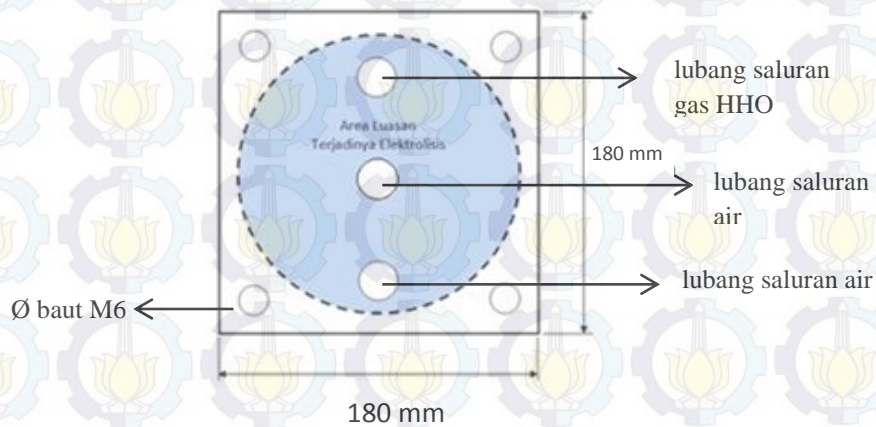
Plat acrylic berfungsi sebagai casing HHO Generator. Ukuran yang digunakan adalah 180 mm x 180 mm dengan tebal 10 mm dan mampu menahan panas hingga 100°C.

2. Elektroda

Pada penelitian ini menggunakan plat elektroda stainless steel tipe SS 316L berdimensi 150 mm x 150 mm dengan *1 cell* yang diharapkan dapat menghasilkan gas HHO yang besar, yaitu sedikitnya 1 LPM. *Stainless steel* tipe SS 316L ini merupakan *stainless steel* yang relatif banyak tersedia dipasaran yang memiliki ketahanan terhadap korosi sangat baik sehingga dijadikan sebagai elektroda generator HHO.

Luasan area dari elektroda yang terendam air untuk terjadinya proses elektrolisis pada generator HHO tipe *dry cell* pada percobaan ini dapat dilihat pada gambar 3.4 luasan elektroda terjadinya elektrolisis pada tipe *dry cell*.

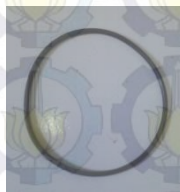




Gambar 3.4 Luasan Elektroda Proses Terjadinya Elektrolisis pada Tipe *Dry Cell*

### 3. O-ring

O-ring yang dipakai seperti pada gambar 3.6 berbahan karet dengan ketebalan 2,5 mm, diletakkan antar plat. Berfungsi untuk menampung larutan elektrolisis dan mencegah kebocoran pada Generator HHO.



Gambar 3.5 O-Ring

### 4. Saluran pernapasan

Saluran pernapasan seperti pada gambar 3.6 menggunakan selang plastik berdiameter 10 mm, tebal 1 mm dengan panjang 140 mm, serta beberapa konektor menggunakan *fitting elbow pneumatic* ukuran 10 mm dari bahan plastik.



Gambar 3.6 *Fitting Pneumatic* dan Selang



5. Baut, mur, dan ring

Baut, mur, dan ring yang digunakan adalah ukuran diameter luar ulir baut 6 mm seperti pada gambar 3.7 berikut:



Gambar 3.7 Baut, Mur dan Ring

6. Air dan KOH

Air yang digunakan dalam generator HHO adalah air aquades, dicampur dengan KOH. Perbandingannya adalah 1 liter air aquades dicampur dengan 12 gram KOH. Semakin tinggi campuran KOH, maka laju produksi HHO cenderung semakin tinggi, namun pemakaian arus listrik juga semakin besar.

### 3.2.4. Peralatan Pendukung

1. Baterai accu

Accu ini digunakan untuk menyuplai arus generator HHO. Spesifikasi dan gambar accu ditunjukkan pada gambar 3.8 sebagai berikut:

- Merk : GS
- Buatan : Indonesia
- Voltase : 12 volt
- Arus : 45 A-hour
- Type : NS60



Gambar 3.8 Battery Accu



## 2. Battery Charger

Digunakan untuk menjaga agar kondisi accu selalu terisi penuh pada saat pengujian, ditunjukkan pada gambar 3.9 sebagai berikut:

- Merk : Delta
- Voltase input : 220 V
- Voltase output : 12 V/24 V
- Arus output : 20 A



Gambar 3.9 *Battery Charger*

## 3. *Bubbler*

Fungsi utama *bubbler* adalah sebagai *safety device* jika ada *back fire*, selain itu *bubbler* juga berfungsi sebagai pemisah uap air dengan gas HHO yang terbentuk jika suhu pada *bubbler* lebih rendah dari suhu generator dan akan dikembalikan ke air. Alat sederhana ini berisi air yang sudah diberi katalis. Prinsip kerja dari *bubbler* yaitu, gas HHO dan uap air dari generator HHO dialirkan masuk kedalam *bubbler*. Kemudian dengan prinsip kondensasi, uap air akan mengembun menjadi air dan gas yang keluar dari *bubler* berupa gas HHO murni.

Gambar *bubbler* ditunjukkan seperti pada gambar 3.10 berikut:





Gambar 3.10 *Bubbler*

#### 4. HHO Gas *Flowmeter*

HHO gas *flowmeter* seperti pada gambar 3.11 ini menggunakan bejana yang berisikan air yang langsung dihubungkan ke generator HHO. Ketika generator dinyalakan gas HHO akan mengisi tabung penampung gas HHO hingga gas terisi penuh. Tabung penampung gas HHO sebesar 500cc.



Gambar 3.11 HHO Gas *Flowmeter*

#### 5. Water Trap

Alat ini berfungsi sebagai penangkap uap air agar tidak ikut masuk ke dalam ruang *mixing*. Selain itu alat ini berfungsi sebagai tangki penampung gas hidrogen sebelum masuk (terisap) ke dalam ruang *mixing*. *Water trap* hanya diisi air murni tanpa katalis yang dimasukkan sebanyak 1/3 dari isi tabung. *Water trap* seperti pada gambar 3.12 juga dilengkapi dengan pipa atau selang penyalur gas hidrogen yang menuju ke *blow-torch*.





Gambar 3.12 *Water Trap*

#### 6. Check Valve (*Flashback arrestor*)

Alat ini mencegah api menjalar ke sumber bahan bakar, yakni generator HHO. Dengan kecepatan api mencapai 1300 m/s, diperlukan alat penangkap api. Prinsip kerja alat ini adalah dengan memindahkan panas dengan membagi suatu volume menjadi volume-volume yang jauh lebih kecil, sekitar  $1/10 \text{ mm}^3$  sehingga pembakaran tidak berlanjut. *Flashback arrestor* terbuat dari pipa besi berdiameter 0,5 inci sepanjang 10 cm yang diisi dengan *steel wool* dengan *glass wool*. Isi yang paling baik adalah *bronze wool* atau *stainless steel wool* karena mempunyai *heat transfer rate* yang lebih baik dan tahan terhadap korosi. Check valve ditunjukkan seperti pada gambar 3.13 berikut ini:



Gambar 3.13 *Check Valve (Flashback arrestor)*

#### 7. Katup Gas HHO

Alat seperti pada gambar 3.14 ini berfungsi sebagai pembuka dan penutup gas HHO sebelum masuk ke *blow-torch*.





Gambar 3.14 Katup Gas HHO

### 3.2.5. Peralatan Ukur

#### 1. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume air aquades dengan spesifikasi dan gambar seperti gambar 3.15 berikut ini :

- Merk : Girs werk
- Buatan : Western Germany
- Type : SBW-borosilicate-glass 6.5
- Capacity : 500 ml
- Accuracy : 50 ml



Gambar 3.15 Gelas Ukur



## 2. Timbangan Digital

Digunakan untuk menimbang massa bubuk KOH seperti pada gambar 3.16 berikut ini:

- Buatan : Jepang
- Type : Libror EB-330D-A
- Capacity : 330 g / 60 g
- Readability : 0.01 g / 0.001 g



Gambar 3.16 Timbangan Digital

## 3. Clamp Meter

*Clamp Meter* seperti pada gambar 3.17 *clamp meter* dibawah ini digunakan untuk mengukur tegangan dan amper yang dibutuhkan oleh generator HHO:

- Buatan : China
- Type : DCM400AD
- Resistance : 400  $\Omega$
- ACA : 40/400 A
- DCA : 40/400 A

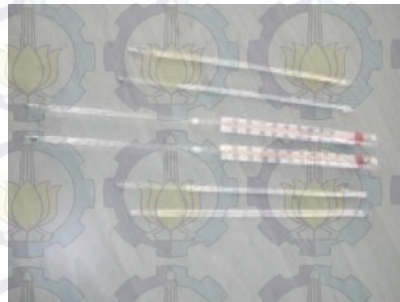


Gambar 3.17 *Clamp Meter*



#### 4. *Thermometer*

*Thermometer* seperti pada gambar 3.18 *thermometer* dibawah ini digunakan untuk mengukur besar temperatur elektrolit didalam Generator HHO. 1 buah *thermometer* dengan skala 0°C-115°C ketelitian 1°C digunakan untuk mengukur temperatur larutan elektrolit selama pengujian.



Gambar 3.18 *Thermometer*

#### 5. Stopwatch digital

Stopwatch digital seperti gambar 3.19 dengan kemampuan pengukuran 1/100 detik digunakan untuk pencatatan waktu pengujian.

Spesifikasi :

- Merk : Casio
- Buatan : China
- Ketelitian : 0.1 detik



Gambar 3.19 Stopwatch Digital

#### 8. Jangka Sorong (*Vernier Caliper*)

Satu buah jangka sorong seperti gambar 3.20 dengan skala jangkauan 0 – 150 mm, untuk mengukur ketebalan plat, dan dimensi *blow-torch*. Jangka Sorong yang digunakan bermerk MITUTOYO dengan range pengukuran 0-150 mm dan ketelitian 0,05 mm.



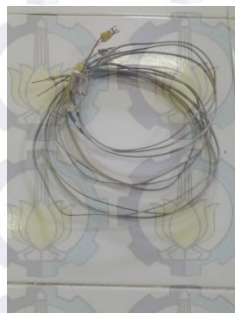
Gambar 3.20 Jangka Sorong

#### 9. *Thermocouple*

*Thermocouple* seperti gambar 3.21 digunakan untuk mengukur distribusi temperatur api *blow-torch*. *Thermocouple* ini terhubung dengan indikator temperatur.

Spesifikasi :

- Type : K
- Range Temperatur : 0<sup>0</sup>C –1375 <sup>0</sup>C



Gambar 3.21 *Thermocouple*

#### 10. Indikator Temperatur

Indikator temperatur seperti gambar 3.22 digunakan untuk menampilkan temperatur distribusi *blow-torch*. Indikator temperatur terhubung dengan *thermocouple*.



Spesifikasi :

- Merk/Type : Autonics T3NI
- Range Temperatur :  $0^{\circ}\text{C}$ – $1400^{\circ}\text{C}$
- Voltage : 220 V AC
- Akurasi :  $\pm 0,3\%$



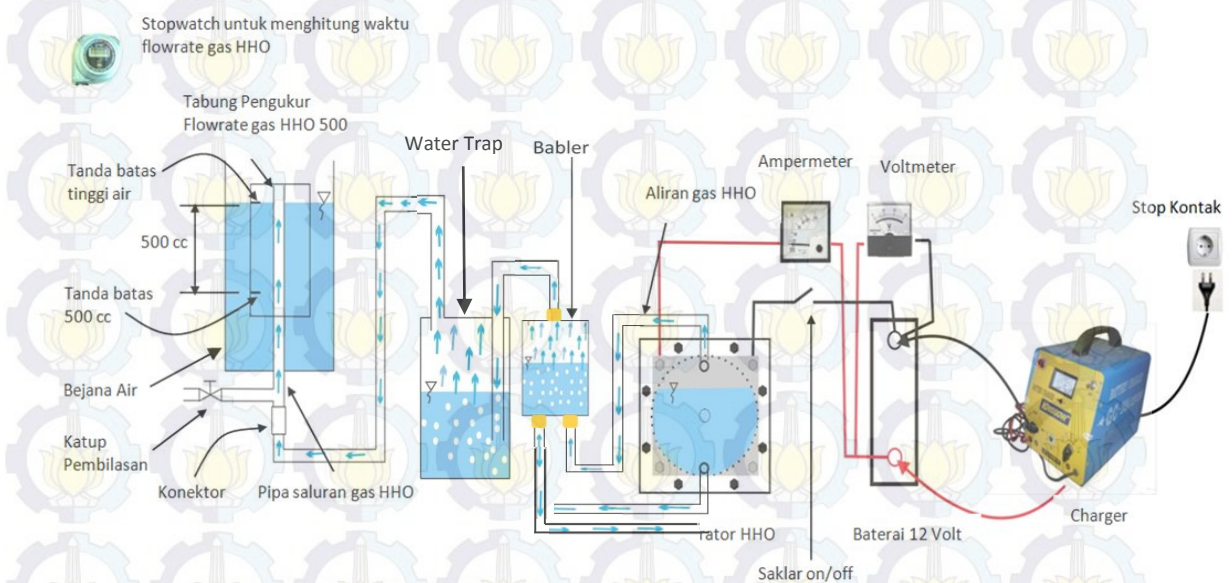
Gambar 3.22 Indikator Temperatur

### 3.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian terdiri dari tiga langkah, yaitu: Instalasi dan pengujian generator HHO, Instalasi dan pengambilan data api *blow-torch*., Instalasi *mixing* dan pengambilan data api *mixing*.

#### 3.3.1 Instalasi dan Pengujian Generator HHO

Instalasi pengujian generator HHO dapat dilihat pada gambar 3.23 berikut.



Gambar 3.23 Rangkaian instalasi pengujian generator HHO



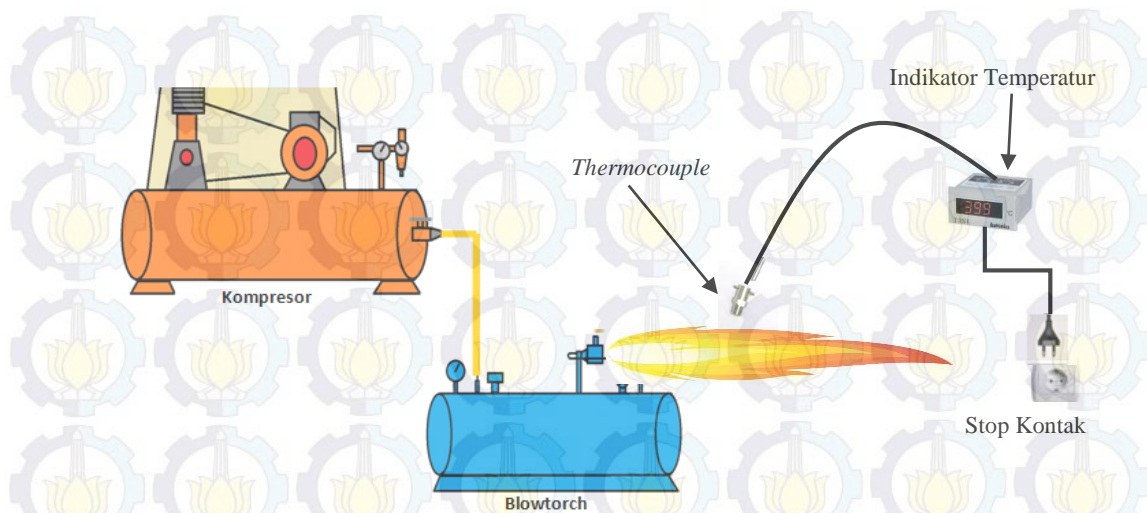
Langkah-langkah instalasi dan pengujian generator HHO sebagai berikut :

1. Siapkan peralatan yang diperlukan.
2. Persiapkan rangkaian peralatan seperti Gambar 3.23
3. Siapkan campuran KOH dengan aquades atau larutan elektrolit. Dalam bentuk 1 liter aquades yang dicampur dengan 12 gram KOH. Kemudian isikan ke dalam generator gas HHO melalui *bubbler*.
4. Pastikan tidak ada sambungan yang bocor.
5. Pastikan alat pengukur arus dan tegangan bekerja dengan baik.
6. Sambungkan langsung *power supply* dari baterai ke generator HHO melalui kabel-kabel. Pastikan sambungan terminal positif dan terminal negatifnya sudah tepat.
7. Sambungkan *bubler*, *water trap* dan alat ukur *flowrate* gas HHO menggunakan selang plastik melalui konektor. Kemudian pastikan tidak ada sambungan yang bocor.
8. Untuk memastikan tidak ada udara yang terperangkap dalam sistem, maka dilakukan langkah pembilasan, Langkah pembilasan dilakukan beberapa saat sebelum pengujian.
9. Untuk menghidupkan sistem produksi gas HHO, tekan saklar ON. Tunggu beberapa detik sampai tabung pengukur gas HHO mencapai skala volume produksi 500 cc, kemudian matikan sistem dengan menekan saklar OFF.
10. Ambil data waktu produksi 500 cc.
11. Waktu produksi 500 cc gas HHO harus kurang dari 31 detik.

### 3.3.2 Instalasi dan Pengambilan Data Api Kerosin Murni

Instalasi pengujian api kerosin murni dapat dilihat pada gambar 3.24 berikut.





Gambar 3.24 Rangkaian instalasi pengujian api kerosin murni

Langkah – langkah pelaksanaan uji temperatur api kerosin murni:

1. Siapkan peralatan yang diperlukan.
2. Persiapkan rangkaian peralatan seperti Gambar 3.24
3. Isi bahan bakar kerosin sejumlah satu liter ke dalam tangki *blow-torch*.
4. Timbang berat awal *blow-torch* yang telah diisi kerosin.
5. Pompa bahan bakar menggunakan kompresor sampai mencapai tekanan kerja yaitu 0,4 MPa. Setelah itu menyalakan pre-heat cup dengan membakar sejumlah bahan bakar (spirtus) dalam cup yang tersedia untuk menguapkan bahan bakar yang sudah ditekan selama dua menit lalu mulai membuka *hand wheel* secara perlahan sampai bukaan penuh dan lidah api mulai membesar. Lalu kontrol bukaan *hand weel* sampai nyala api stabil.
6. Apabila nyala api yang stabil sudah dicapai, dilakukan pengukuran temperatur api dengan *thermocouple* pada titik-titik tertentu, yaitu:
  - ✓ *Thermocouple* diletakkan diatas *blow-torch*. pada jarak 10mm dari *nipple* dilakukan pengukuran temperatur dan diletakkan 50mm di atas garis sumbu *nipple*.
  - ✓ *Thermocouple* diletakkan memanjang terus tiap jarak 6 mm, hingga mencapai jarak 360 mm dan pada tiap-tiap jarak dilakukan pengukuran temperatur.

- ✓ *Thermocouple* disusun horizontal mengikuti arah dari *flame*.
  - ✓ Selanjutnya *thermocouple* disusun vertikal agar nyala api yang terdefleksi juga bisa terukur.
7. Biarkan *blow-torch* bekerja selama 7 menit, lalu matikan.
  8. Setelah pemakaian selama 7 menit, timbang kembali berat *blow-torch* dengan bahan bakar yang tersisa.
  9. Pengujian dan pengambilan data dilakukan minimal tiga kali untuk masing-masing titik agar didapatkan data yang valid.

Tabel 3.1 Lembar Data Pengujian Temperatur Api

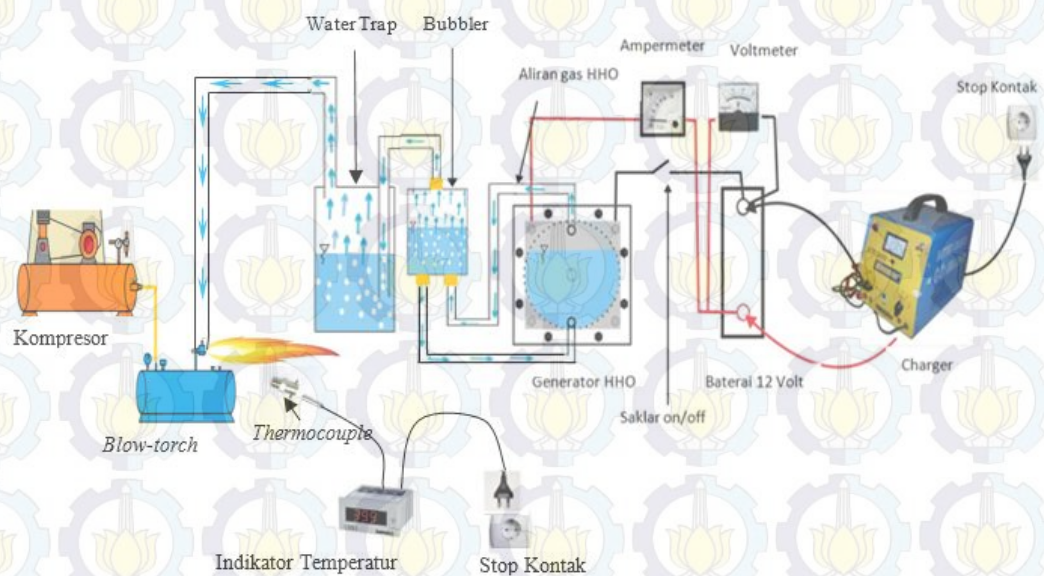
No.	Panjang Api	Temperatur Nyala Api (°C)									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
1	6										
2	12										
3	18										
4	24										
5	30										
6	36										
7	42										
8	48										
9	54										
10	60										
11	66										
12	72										
13	78										
14	84										
15	90										
16	96										
17	102										
18	108										
19	114										
20	120										
21	126										
22	132										
23	138										
24	144										
25	150										
26	156										



27	162										
28	168										
29	172										
30	dst										

### 3.3.3 Instalasi dan Uji *Mixing*

Instalasi pengujian api *mixing* kerosin + gas HHO dapat dilihat pada gambar 3.25 berikut.



Gambar 3.25 Rangkaian instalasi pengujian api *mixing*

Langkah-langkah instalasi dan uji *mixing* sebagai berikut:

1. Siapkan peralatan yang diperlukan.
2. Persiapkan rangkaian peralatan seperti Gambar 3.24
3. Isi bahan bakar kerosin sejumlah satu liter ke dalam tangki *blow-torch*.
4. Timbang berat awal *blow-torch* yang telah diisi kerosin.
5. Pasang rangkaian generator dan peralatan lain seperti gambar 3.25. Sambungkan saluran gas HHO dengan ejektor yang terpasang pada *blow-torch*.
6. Pemompa bahan bakar menggunakan kompresor sampai mencapai tekanan kerja yaitu 0,4 MPa. Setelah itu menyalakan *pre-heat cup*



dengan membakar sejumlah bahan bakar (spirtus) dalam *cup* yang tersedia untuk menguapkan bahan bakar yang sudah ditekan selama dua menit lalu mulai membuka *hand wheel* secara perlahan sampai bukaan penuh 100%, serta menyalakan generator HHO secara bersamaan sehingga gas HHO yang terbentuk dan uap kerosin bercampur secara difusi dan lidah api mulai membesar. Kontrol bukaan *hand wheel* sampai nyala api stabil.

7. Apabila nyala api yang stabil sudah dicapai, dilakukan pengukuran temperatur api dengan *thermocouple* pada titik-titik tertentu, yaitu:
  - *Thermocouple* diletakkan diatas burner pada jarak 10mm dari *nipple* dilakukan pengukuran temperatur dan diletakkan 50mm di atas garis sumbu *nipple*.
  - *Thermocouple* diletakkan memanjang terus tiap jarak 6 mm, hingga mencapai jarak 360 mm dan pada tiap-tiap jarak dilakukan pengukuran temperatur.
  - *Thermocouple* disusun horizontal mengikuti arah dari *flame*.
  - Selanjutnya *thermocouple* disusun vertikal agar nyala api yang terdefleksi juga bisa terukur.
8. Biarkan *blow-torch* bekerja selama 7 menit, lalu matikan.
9. Setelah pemakaian selama 7 menit, timbang kembali berat *blow-torch* dengan bahan bakar yang tersisa.
10. Pengujian dan pengambilan data dilakukan minimal tiga kali untuk masing-masing titik agar didapatkan data yang valid.
11. Ulangi langkah 1-9 untuk bukaan katup *blow-torch* 25% dan 50%.

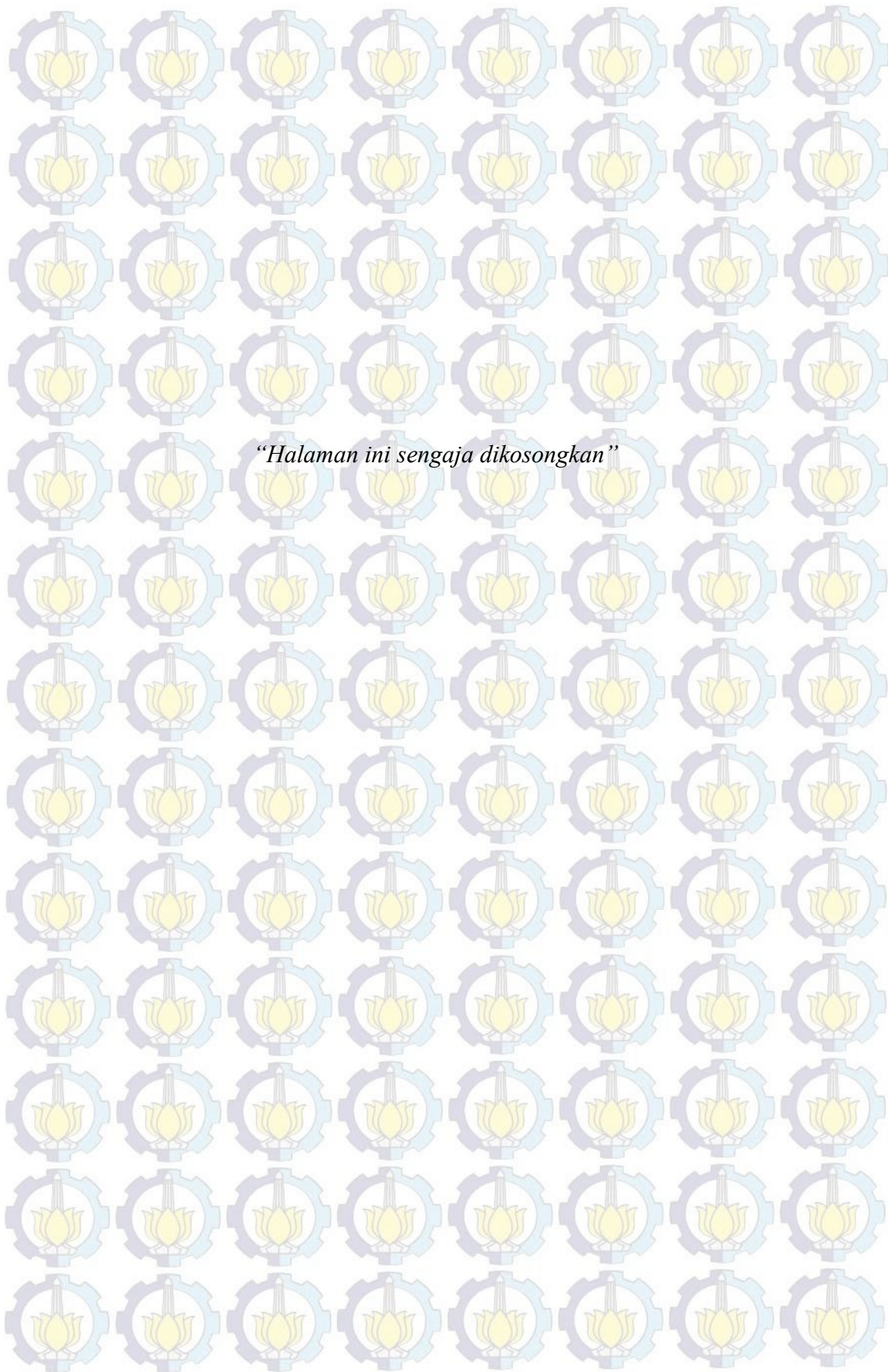


### 3.4 Rencana dan Jadwal Kegiatan Penelitian

Jadwal reencana pengerjaan tesis ini dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.2 Rencana dan Jadwal Kegiatan Penelitian

Proses	Jul				Agust				Sep				Okt				Nov				Des				Jan			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																												
Penulisan Proposal																												
Seminar Proposal																												
Revisi Proposal																												
Pembuatan Alat Uji																												
Pengambilan Data Eksperimen																												
Pengolahan Data																												
Penyusunan Laporan Hasil																												
Seminar Hasil																												





## BAB IV

### HASIL DAN ANALISA DATA

Pada bab ini dipaparkan hasil pengujian dan analisa data tentang studi komparasi distribusi temperatur nyala api pada *blow-torch* kerosin dan *mixing* kerosin + gas HHO yang dilakukan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar Jurusan Teknik Mesin ITS.

Hasil yang didapat dari pengujian dan analisa data adalah sebagai berikut:

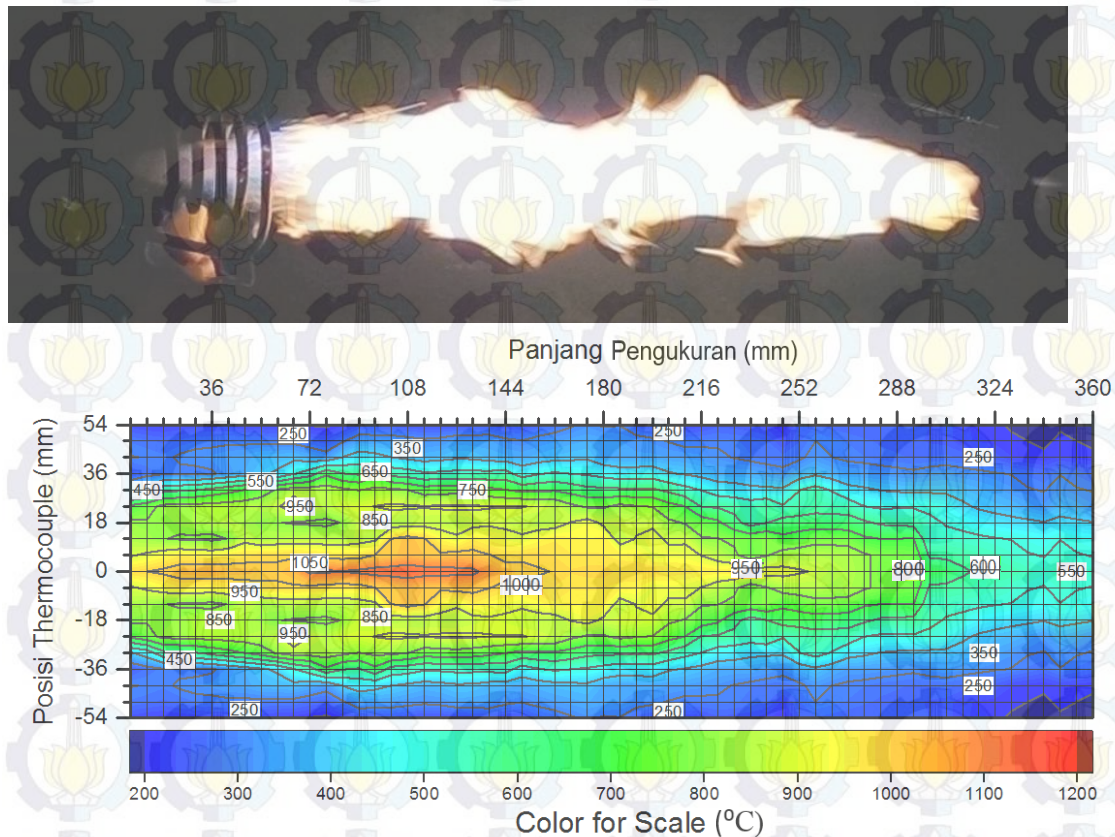
1. Dokumentasi nyala api dan kontur *isothermal*
2. Struktur api berdasarkan kontur *isothermal*
3. Distribusi temperatur rata-rata
4. Daya berdasar pada *blow-torch*
5. Radiasi api pada *blow-torch*

#### 4.1 Dokumentasi Nyala Api dan Kontur *Isothermal*

Dokumentasi nyala api diperoleh dengan mengambil gambar nyala api menggunakan kamera digital. Sedangkan kontur *isothermal* didapatkan dengan cara mengukur temperatur api *blow-torch*. Pengukuran dilakukan dengan cara menggunakan *Thermocouple Type K* yang kemudian dihubungkan dengan indikator temperatur merk/type Autonics T3NI. Output tegangan analog dari *Thermocouple* dikonversi ke dalam bentuk digital oleh ADC data *Logger Type 128 C Omega* kemudian diterjemahkan ke dalam bentuk temperatur (°C). Data tersebut dicatat dan dimasukkan ke dalam *software* MICROSOFT EXCEL 2010, dan data temperatur ini kemudian diolah menggunakan *software* ORIGIN 2015 untuk mendapatkan kontur *isothermal*. Data pengukuran temperatur api menggunakan 10 *thermocouple* di setiap panjang 6 mm dapat dilihat pada lampiran 1.



#### 4.1.1 Kontur *Isothermal* Api Difusi pada *Blow-torch* Kerosin Murni



Gambar 4.1 Hasil dokumentasi nyala api dan kontur *isothermal* api difusi pada *blow-torch* kerosin murni

Gambar 4.1 memperlihatkan hasil dokumentasi nyala api dan kontur *isothermal* api difusi pada *blow-torch* kerosin murni. Dapat lihat bahwa api dengan bahan bakar kerosin murni berwarna kuning dan bentuknya memanjang. Api yang dihasilkan pada variasi ini juga mengandung banyak jelaga.

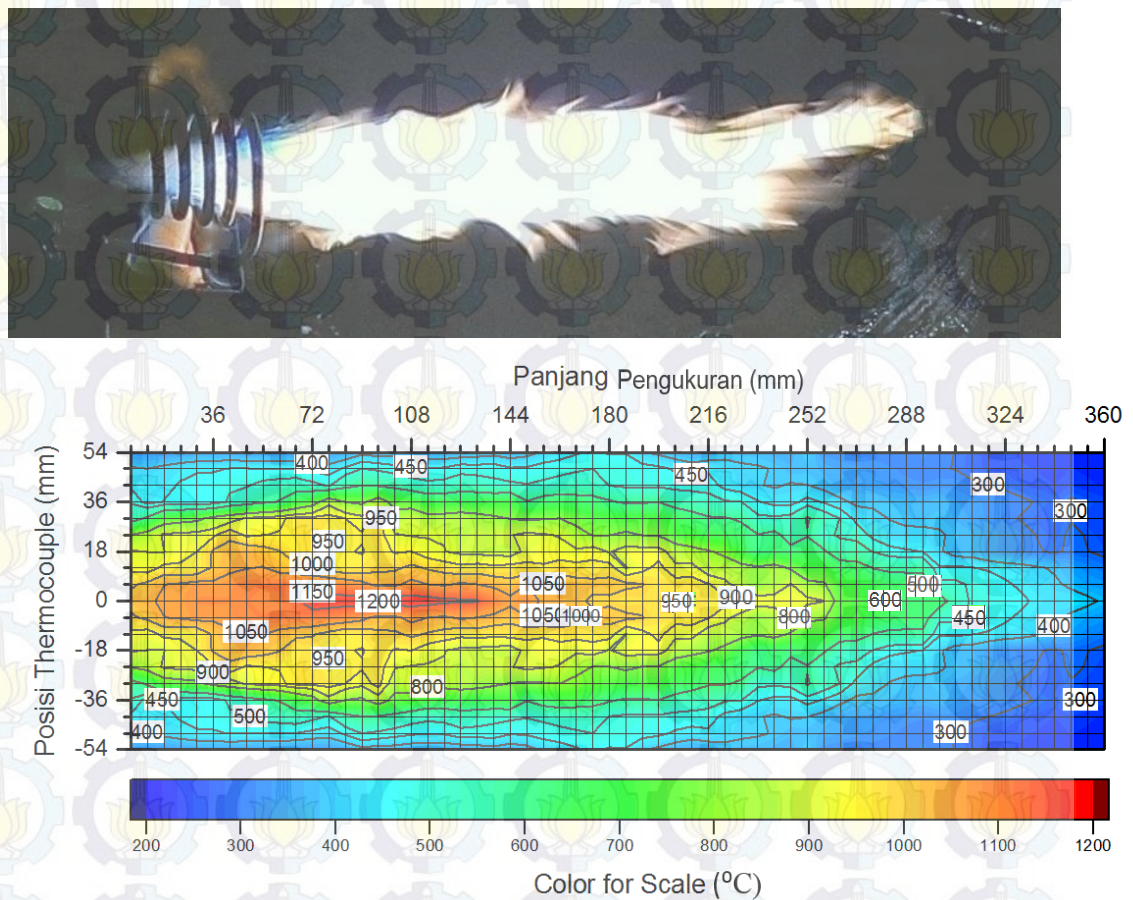
Untuk kontur *isothermal* lebih didominasi oleh warna hijau dan biru dimana warna yang semakin kearah warna biru maka suhunya akan semakin rendah. Warna kontur *isothermal* api yang ditengah berwarna kuning dan sedikit merah.

Hal ini dikarenakan pencampuran bahan bakar dan udara yang secara difusi, dimana bahan bakar dan udara awalnya terpisah. Aliran bahan bakar yang keluar dari ujung nosel baru akan bercampur dengan udara di ujung mulut burner.



Sehingga yang terjadi adalah pembakaran kaya, dimana lebih banyak jumlah bahan bakar daripada udara. Kandungan hidrokarbon dari kerosin tidak sepenuhnya bereaksi dengan oksigen, sehingga ada sisa kandungan zat seperti karbon, hidrogen, sulfur dan nitrogen yang tidak teroksidasi menjadi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$  dan  $\text{N}_2$ .

#### 4.1.2 Kontur *Isothermal* Api *Premixed* pada *Blow-torch* Kerosin Buka-an Katup 25% + gas HHO



Gambar 4.2 Hasil dokumentasi nyala api dan kontur *isothermal* api pada *blow-torch* kerosin bukaan katup 25% + gas HHO

Gambar 4.2 memperlihatkan hasil dokumentasi nyala api dan kontur *isothermal* api pada *blow-torch* kerosin bukaan katup 25% + gas HHO. Dapat dilihat bahwa api dengan bahan bakar kerosin + gas HHO berwarna putih, bentuknya

panjang dan di pangkal sedikit berwarna biru. Api yang dihasilkan pada variasi ini mengandung sedikit jelaga.

Untuk kontur *isothermal* lebih didominasi oleh warna hijau dan biru muda. Kontur *isothermal* api yang ditengah berwarna kuning dan warna merahnya mulai melebar.

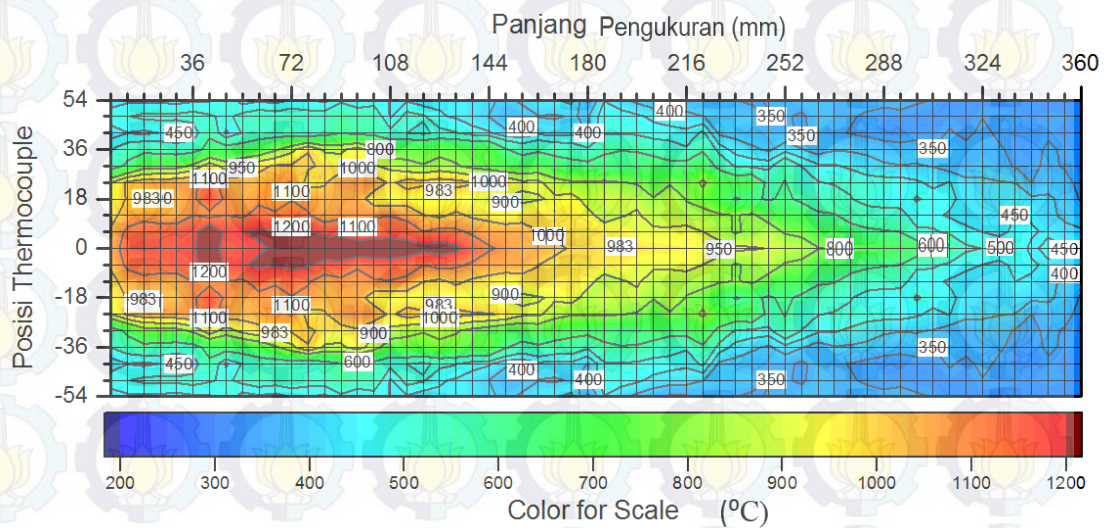
Hal ini dikarenakan ada penambahan oksigen dari HHO sehingga pencampuran bahan bakar dan udara terjadi secara yang *premix* membuat campuran menjadi stokiometri. Bahan bakar hidrokarbon bereaksi dengan oksigen untuk mengoksidasi semua karbon, hidrogen dan sulfur menjadi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$  dan  $\text{N}_2$  sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna.

Selain itu juga karena adanya penambahan  $\text{H}_2$  dari HHO, dimana NKB dari  $\text{H}_2$  mempunyai nilai yang lebih tinggi daripada kerosin. NKB yang tinggi akan menghasilkan kalor yang lebih besar sehingga temperatur pembakaran juga akan meningkat.

#### 4.1.3 Kontur *Isothermal* Api *premixed* pada *Blow-torch* Kerosin Buka-an Katup 50% + gas HHO







Gambar 4.3 Hasil dokumentasi nyala api dan kontur *isothermal* api pada *blow-torch* kerosin bukaan katup 50% + gas HHO

Gambar 4.3 memperlihatkan hasil dokumentasi nyala api dan kontur *isothermal* api pada *blow-torch* kerosin bukaan katup 50% + gas HHO. Dapat lihat bahwa api dengan bahan bakar kerosin + gas HHO berwarna putih, bentuknya pendek dan di pangkal berwarna biru. Api yang dihasilkan pada variasi ini mengandung sedikit jelaga.

Untuk kontur *isothermal* lebih didominasi oleh warna hijau dan biru muda. Kontur *isothermal* api yang ditengah sedikit berwarna kuning dan didominasi warna merah.

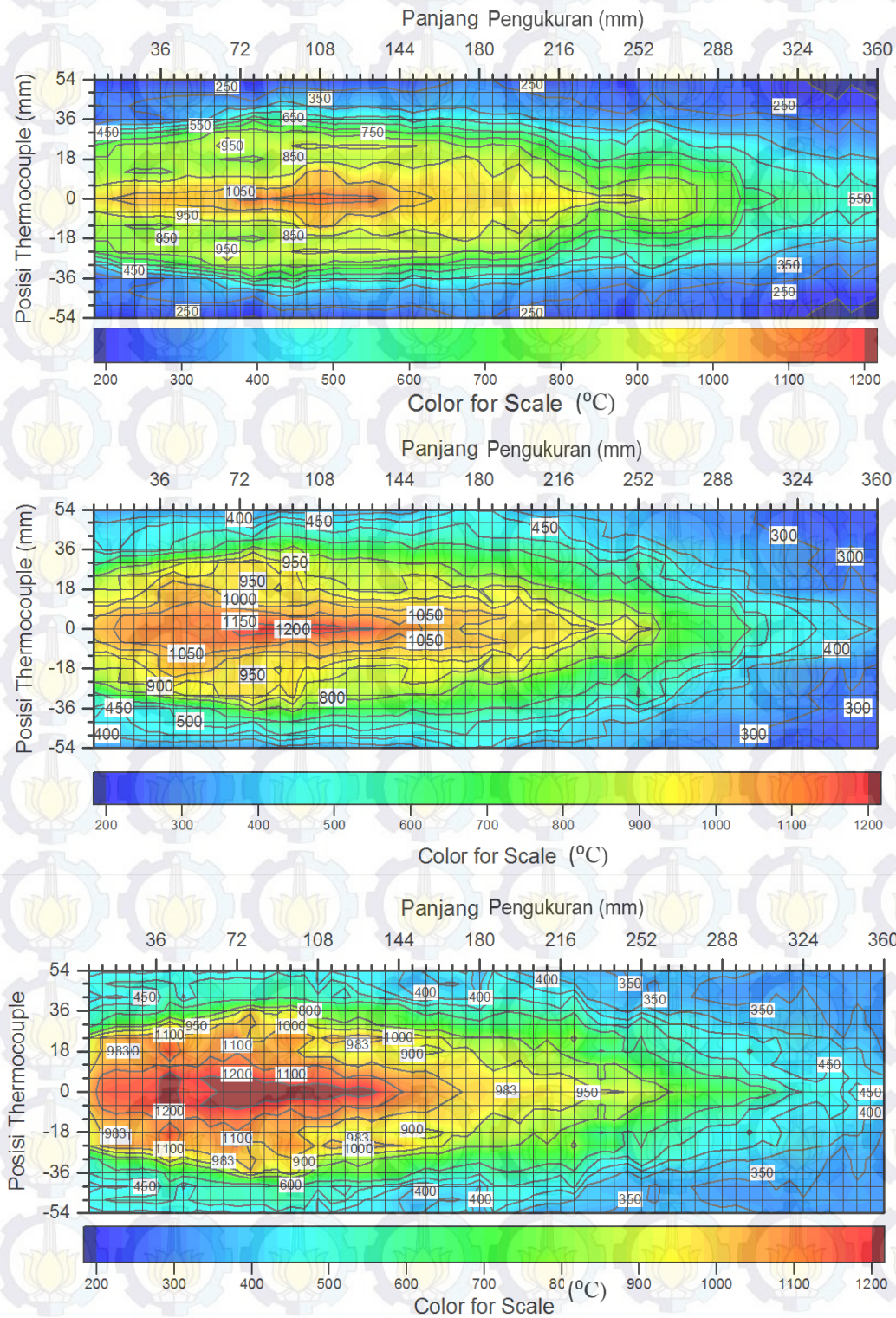
Hal ini dikarenakan ada penambahan oksigen dari HHO sehingga pencampuran bahan bakar dan udara terjadi secara yang *premix* membuat campuran menjadi stokiometri. Bahan bakar hidrokarbon bereaksi dengan oksigen untuk mengoksidasi semua karbon, hidrogen dan sulfur menjadi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$  dan  $\text{N}_2$  sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna.

Selain itu juga karena adanya penambahan  $\text{H}_2$  dari HHO, dimana NKB dari  $\text{H}_2$  mempunyai nilai yang lebih tinggi daripada kerosin. NKB yang tinggi akan menghasilkan kalor yang lebih besar sehingga temperatur pembakaran juga akan meningkat.

Pada variasi ini bukaan katup juga lebih besar sehingga laju aliran bahan bakar akan meningkat, membuat pembakaran berlangsung lebih cepat.



Kontur *isothermal* api difusi dengan 3 variasi jika dibandingkan maka terlihat sebagai berikut:



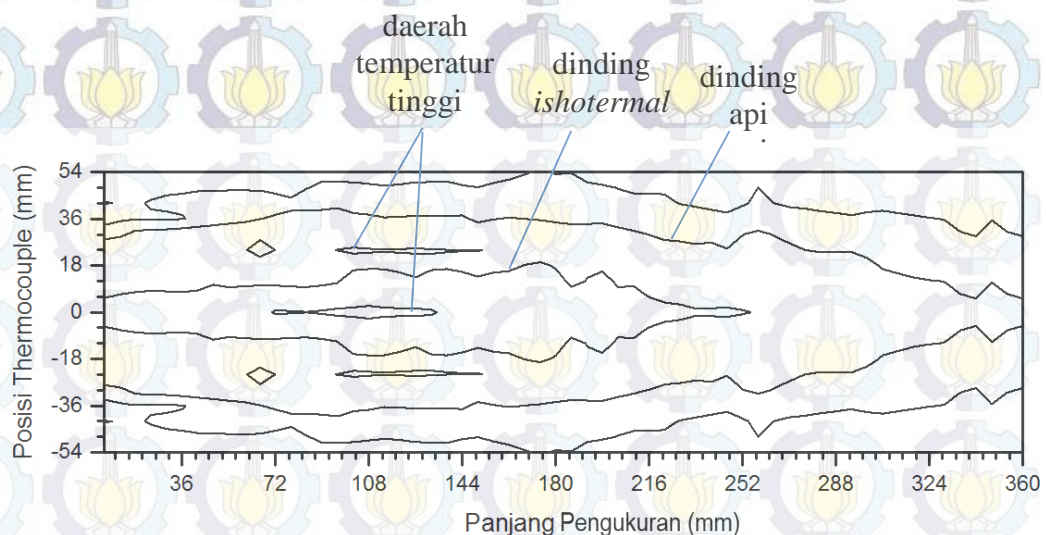
Gambar 4.4 Perbandingan kontur *isothermal* api pada *blow-torch* dengan 3 variasi



Gambar 4.4 merupakan perbandingan kontur *isothermal* api difusi pada *blow-torch* dengan 3 variasi. Dari ketiga variasi itu, variasi kerosin bukaan katup 50% yang menghasilkan pembakaran paling sempurna, yaitu hampir semua karbon, hidrogen, sulfur dan nitrogen teroksidasi menjadi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$  dan  $\text{N}_2$ , ditandai dengan pancaran radiasi api yang lebih panas, nyala api berwarna putih dan lidah nyala api lebih pendek, sedikit jelaga yang dihasilkan dari hasil sisa pembakaran. Dari kontur *isothermal* terlihat daerah yang berwarna merah yang artinya mempunyai temperatur tinggi, mempunyai luasan yang lebih besar daripada 2 variasi sebelumnya.

## 4.2 Analisa Struktur Api berdasarkan Kontur *Isothermal*

### 4.2.1 Api Difusi pada *Blow-torch* Kerosin Murni



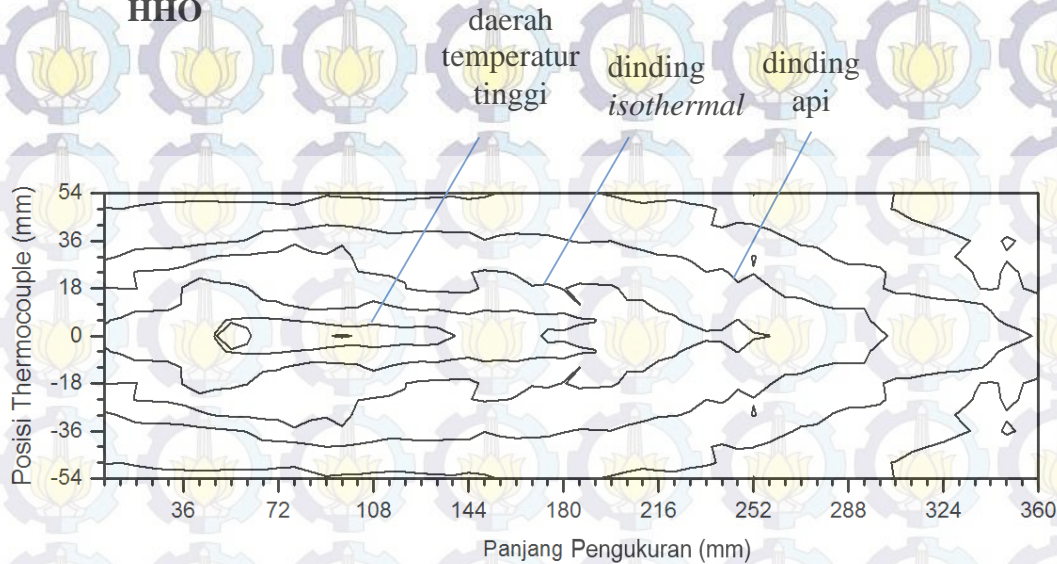
Gambar 4.5 Struktur api difusi pada *blow-torch* kerosin murni

Gambar 4.5 memperlihatkan struktur api difusi pada *blow-torch* kerosin murni dengan suhu ujung api kurang lebih  $550^\circ\text{C}$ , panjang api adalah 360 mm dan lebar api adalah 78 mm. Daerah temperatur tertinggi terletak pada panjang 72 – 156 mm. Temperatur tertinggi mencapai  $1145^\circ\text{C}$  dimana terjadi seluruh reaksi kimia yang disertai dengan pelepasan panas sehingga mempunyai temperatur yang tinggi.. Secara keseluruhan stuktur api pada variasi ini memanjang dan besar tetapi mempunyai daerah *isothermal* yang sempit.



#### 4.2.2 Api Premixed pada Blow-torch Kerosin Bukaan Katup 25% + gas

HHO

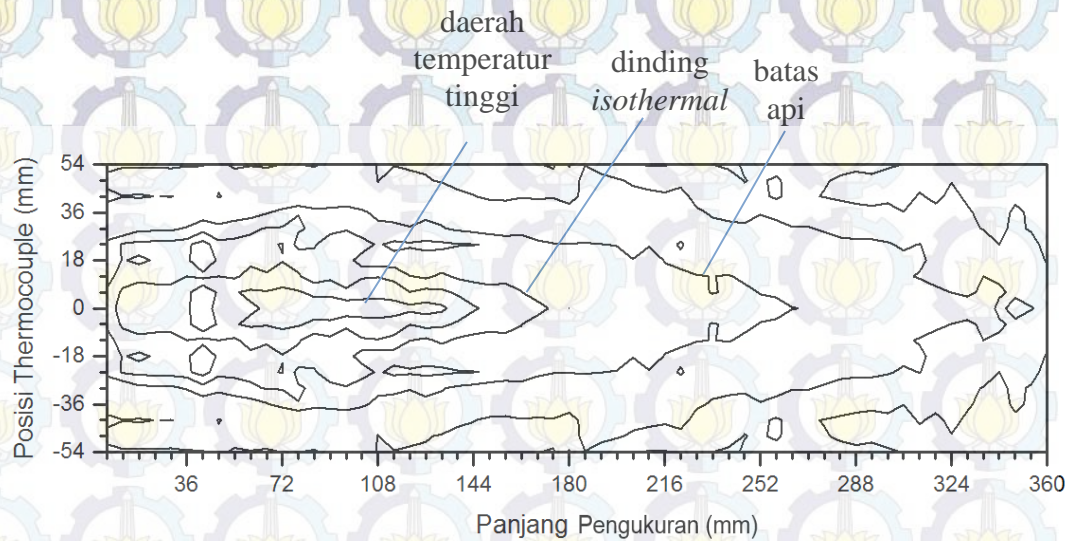


Gambar 4.6 Struktur api premixed pada *blow-torch* kerosin bukaan katup 25% + gas HHO

Gambar 4.6 memperlihatkan struktur api *premixed* pada *blow-torch* kerosin bukaan katup 25% + gas HHO dengan suhu ujung api kurang lebih  $600^{\circ}\text{C}$ , panjang api adalah 300 mm dan lebar api adalah 72 mm. Daerah temperatur tertinggi terletak pada panjang 48 – 138 mm. Temperatur tertinggi mencapai  $1216^{\circ}\text{C}$  dimana terjadi seluruh reaksi kimia yang disertai dengan pelepasan panas sehingga mempunyai temperatur yang tinggi. Secara keseluruhan stuktur api pada variasi ini panjangnya berkurang dan lebih ramping tetapi mempunyai daerah *isothermal* yang lebar.



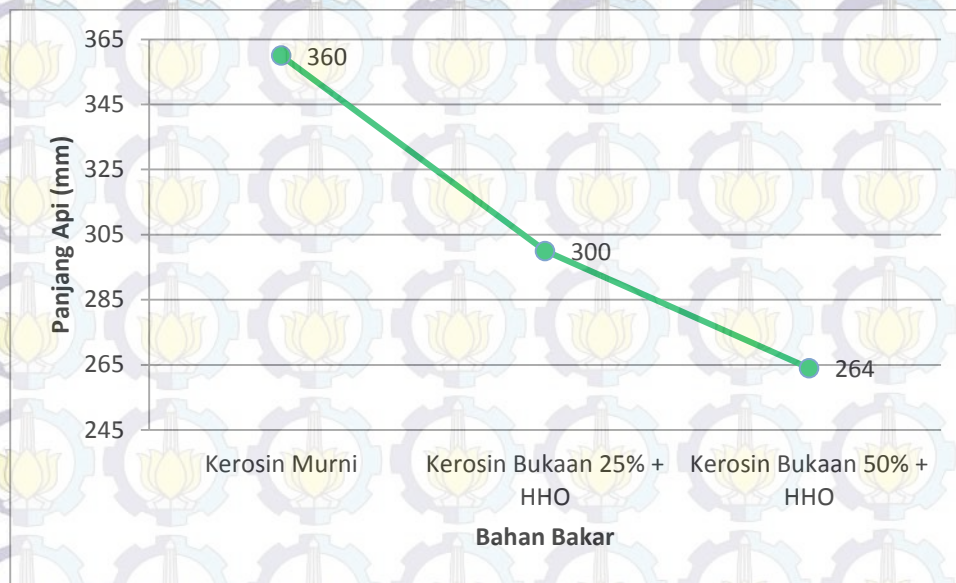
#### 4.2.3 Api Premixed pada Blow-torch Kerosin Buka-an Katup 50% + gas HHO



Gambar 4.7 Struktur api *premixed* pada *blow-torch* kerosin bukaan katup 50% + gas HHO

Gambar 4.7 memperlihatkan struktur api *premixed* pada *blow-torch* kerosin bukaan katup 50% + gas HHO dengan suhu ujung api kurang lebih  $800^{\circ}\text{C}$ , panjang api adalah 264 mm dan lebar api adalah 72 mm. Daerah temperatur tertinggi terletak pada panjang 42 – 132 mm. Temperatur tertinggi mencapai  $1319^{\circ}\text{C}$  dimana terjadi seluruh reaksi kimia yang disertai dengan pelepasan panas sehingga mempunyai temperatur yang sangat tinggi. Secara keseluruhan stuktur api pada variasi ini memendek dan ramping tetapi mempunyai daerah *isothermal* yang lebih lebar dari dua variasi yang sebelumnya.

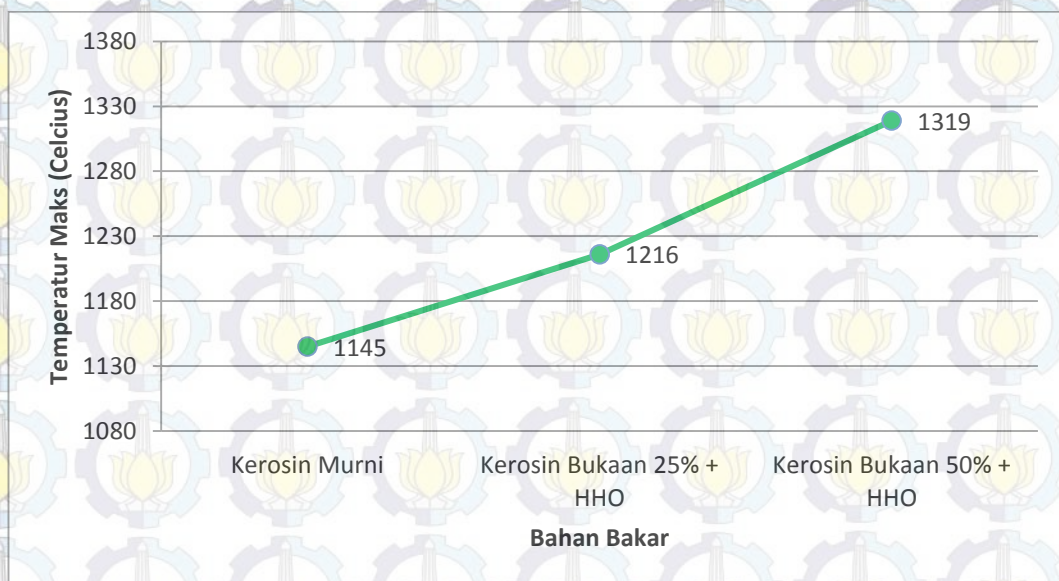




Gambar 4.8 Grafik panjang nyala api terhadap variasi bahan bakar

Gambar 4.8 menampilkan grafik panjang nyala api terhadap variasi bahan bakar. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa panjang api semakin memendek seiring dengan penambahan gas HHO, selain itu karakter api akan berubah dari api difusi laminar ke api difusi turbulen seperti yang terlihat dari gambar 4.1, 4.2 dan 4.3. Hal ini dikarenakan kecepatan bahan bakar meningkat setelah bahan bakar utama bercampur dengan gas HHO yang membuat pembakaran lebih sempurna sehingga membuat temperatur naik dengan cepat. Kenaikan temperatur ini membuat kecepatan bahan bakar meningkat sehingga membuat karakter api laminar berubah menjadi api turbulen. Selama periode transisi ini, bibir api menjadi turbulen sedangkan pangkalnya bertahan laminar. Panjang api akan berkurang pada daerah turbulen. Pada kondisi turbulen yang sangat stabil, panjang api sudah tidak dipengaruhi oleh peningkatan kecepatan bahan bakar lagi.





Gambar 4.9 Grafik temperatur maksimal api terhadap variasi bahan bakar

Gambar 4.9 menampilkan temperatur maksimal api terhadap variasi bahan bakar. Dari gambar itu dapat dilihat bahwa temperatur maksimal pada api *blow-torch* meningkat seiring dengan penambahan gas HHO. Hal ini dikarenakan peningkatan kandungan oksigen dalam gas HHO membuat pembakaran menjadi lebih sempurna. Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan temperatur yang lebih tinggi. Selain itu juga karena adanya kandungan hidrogen pada gas HHO yang mempunyai *flash point* lebih tinggi sehingga membuat bahan bakar menyala lebih cepat.

#### 4.3 Distribusi Temperatur Rata-rata

Distribusi temperatur dari masing-masing variasi bahan bakar akan dianalisa berdasarkan luasan temperatur rata-rata untuk membandingkan kualitas distribusi temperatur dari ketiga variasi bahan bakar, sehingga nantinya dapat diketahui temperatur rata-rata pada panjang tertentu. Luasan temperatur dapat dicari pada garis batas temperatur rata-rata pada grafik 4.1, 4.2, dan 4.3.

Contoh perhitungan dari luasan temperatur rata-rata dengan menggunakan data pada grafik 4.1 pada panjang 6 mm adalah sebagai berikut:

Mencari luasan total dengan menggunakan rumus 2.4:



$$A_{tot} = \sum_{i=1}^n [\pi(ro_i^2 - ri_i^2)]$$

$$\begin{aligned} A_{tot} &= [3.14 (6 \text{ mm}^2 - 0 \text{ mm}^2) + 3.14 (19 \text{ mm}^2 - 6 \text{ mm}^2) + 3.14 (24 \text{ mm}^2 - 19 \text{ mm}^2) + 3.14 \\ &\quad (26 \text{ mm}^2 - 24 \text{ mm}^2) + 3.14 (28 \text{ mm}^2 - 26 \text{ mm}^2) + 3.14 (30 \text{ mm}^2 - 28 \text{ mm}^2) + 3.14 \\ &\quad (34 \text{ mm}^2 - 30 \text{ mm}^2) + 3.14 (54 \text{ mm}^2 - 34 \text{ mm}^2)] \\ &= 9.156,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan pada tiap temperatur api dapat dicari dengan menggunakan rumus 2.5:

$$\begin{aligned} (TxA)_{tot} &= [3.14 (6 \text{ mm}^2 - 0 \text{ mm}^2) 950^\circ\text{C} + 3.14 (19 \text{ mm}^2 - 6 \text{ mm}^2) 850^\circ\text{C} + 3.14 (24 \\ &\quad \text{mm}^2 - 19 \text{ mm}^2) 750^\circ\text{C} + 3.14 (26 \text{ mm}^2 - 24 \text{ mm}^2) 650^\circ\text{C} + 3.14 (28 \text{ mm}^2 - 26 \\ &\quad \text{mm}^2) 550^\circ\text{C} + 3.14 (30 \text{ mm}^2 - 28 \text{ mm}^2) 450^\circ\text{C} + 3.14 (34 \text{ mm}^2 - 30 \text{ mm}^2) 350^\circ\text{C} \\ &\quad + 3.14 (54 \text{ mm}^2 - 34 \text{ mm}^2) 250^\circ\text{C}] \\ &= 3.698.606 \text{ mm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Sehingga temperatur rata-rata tiap panjang dapat dihitung,

$$T_{rata-rata} = \frac{(A \times T)_{tot}}{A_{tot}}$$

$$T_{rata-rata} = \frac{3.698.606 \text{ mm}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{9.156,24 \text{ mm}^2}$$

$$T_{rata-rata} = 404^\circ\text{C}$$

Data perhitungan luasan temperatur rata-rata variasi kerosin murni, variasi kerosin bukaan katup 25% + gas HHO, kerosin bukaan katup 50% + gas HHO dapat dilihat pada lampiran 2. Dari data perhitungan tersebut dapat diketahui temperatur rata-rata pada tiap panjang pengukuran *termocouple* sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data temperatur rata-rata pada tiap pengukuran panjang

Panjang Api (mm)		6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
T <sub>r</sub> (°C)	Kerosin Murni	404	416	445	447	447	454	486	494	505	522	542	542	558	559	573
	Bukaan 25% +	510	508	537	555	571	583	611	622	625	630	646	593	607	645	673
	Bukaan 50% +	560	596	619	623	621	640	684	653	674	694	709	735	747	715	731



Panjang Api (mm)		96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
$T_r$ (°C)	Kerosin Murni	572	569	560	549	542	552	554	551	539	518	534	541	547	544	532
	Bukaan 25% +	676	624	604	587	602	612	606	605	593	597	611	617	604	593	579
	Bukaan 50% +	728	701	643	655	633	638	618	605	583	557	549	559	543	538	508

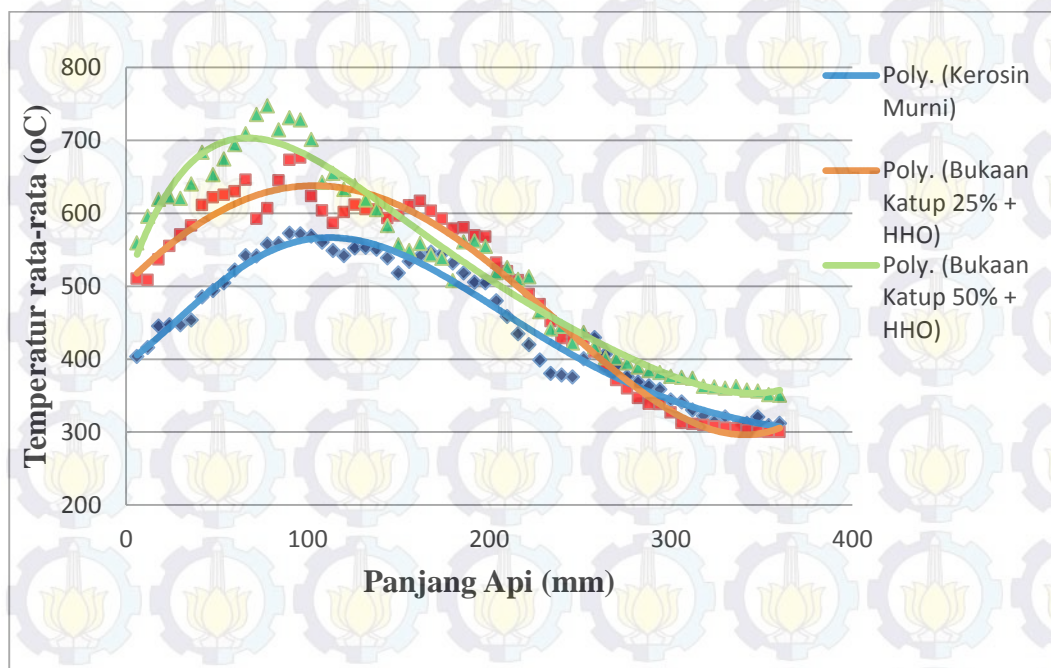
Panjang Api (mm)		186	192	198	204	210	216	222	228	234	240	246	252	258	264	270
$T_r$ (°C)	Kerosin Murni	518	505	505	480	459	435	420	399	381	378	376	401	430	407	391
	Bukaan 25% +	581	570	568	532	520	508	489	475	452	429	425	428	410	390	371
	Bukaan 50% +	561	562	555	519	526	509	513	465	441	445	422	437	417	402	402

Panjang Api (mm)		276	282	288	294	300	306	312	318	324	330	336	342	348	354	360
$T_r$ (°C)	Kerosin Murni	376	369	363	359	344	341	330	322	315	321	309	312	321	309	312
	Bukaan 25% +	360	347	339	338	327	312	311	310	308	306	305	303	301	300	300
	Bukaan 50% +	395	389	385	382	377	375	374	363	362	360	362	358	356	351	351

Pada tabel 4.1 dapat dilihat perbedaan data temperatur rata-rata pada tiap 6 mm panjang api. Dari data temperatur rata-rata yang diperoleh tersebut, didapatkan untuk nyala api *blow-torch* kerosin murni mempunyai temperatur rata-rata maksimal sebesar 573°C pada panjang api 90 mm. Untuk nyala api *blow-torch* kerosin kerosin bukaan katup 25% + gas HHO mempunyai temperatur rata-rata maksimal sebesar 676°C pada panjang api 96 mm. Untuk nyala api *blow-torch* kerosin kerosin bukaan katup 50% + gas HHO mempunyai temperatur rata-rata maksimal sebesar 747°C pada panjang api 78 mm.

Pada gambar 4.10 menampilkan grafik temperatur rata-rata vs panjang api untuk tiap variasi bahan bakar pada setiap 6 mm panjang api.





Gambar 4.10 Grafik temperatur rata-rata vs panjang api

Dari gambar itu dapat dilihat bahwa untuk semua variasi bahan bakar, temperatur api meningkat sampai pada puncak tertentu seiring dengan meningkatnya panjang api sampai sekitar 100 mm dan kemudian menurun sampai pada temperatur paling rendah. Daerah yang temperturnya mulai meningkat disebut *preheating zone*, temperatur meningkat disebabkan oleh panas konveksi dari api. Daerah yang selanjutnya temperturnya meningkat sampai titik puncak disebut *reaction zone*, pada zona ini seluruh reaksi kimia dan pelepasan panas terjadi sehingga menghasilkan temperatur tinggi. Sedangkan daerah dimana temperatur mulai menurun sampai temperatur terendah disebut daerah *burn gas*, temperatur mulai menurun karena gas – gas yang terbentuk dari hasil pembakaran api.

Dari ketiga variasi itu, variasi kerosin bukaan katup 50% + gas HHO yang menghasilkan temperatur rata-rata maksimal paling tinggi. Hal ini dikarenakan penambahan gas HHO yang terdiri dari  $H_2$  dan  $O_2$  membuat pembakaran lebih sempurna sehingga bahan bakar hidrokarbon dapat terbakar secara optimal.



#### 4.4 Daya Bahan Bakar *Blow-torch*

##### 4.4.1 Properties Bahan Bakar

Properties bahan bakar diperlukan untuk mengetahui karakteristik bahan bakar, sehingga daya pada bahan bakar dapat dicari.

Properties kerosin:

- Tekanan = 1 atmosfer
- Temperatur = 25°C
- Massa jenis kerosin = 810 kg/m<sup>3</sup>
- NKB kerosin = 43.650 kJ/kg

Properties gas HHO:

- Massa jenis gas HHO = 0,491167 kg/m<sup>3</sup>..... (sub bab 2.3.3.1)
- NKB gas HHO = 13.325 kJ/kg..... (sub bab 2.3.3.2)
- Tekanan gas HHO = 1 atm
- Temperatur = 25 °C
- Laju Produksi = 2,3 L/menit

Daya bahan bakar kerosin pada *blow-torch* dapat dihitung dengan mengukur volume bahan bakar sebelum dan sesudah diuji tiap variasi bukaan katup. Sedangkan daya bahan bakar gas HHO dapat dihitung dengan menggunakan *flowmeter* jenis *rotameter*.

##### 4.4.2 Daya Bahan Bakar Kerosin Murni

$$\begin{aligned}m_{\text{kerosin}} &= \rho \times V \\&= 810 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,00053 \text{ m}^3 \\&= 0,4293 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{kerosin}} &= \frac{mf \times \text{NKB}_{\text{kerosin}}}{t} \\&= \frac{0,4293 \text{ kg} \times 43.650.000 \text{ J/kg}}{492 \text{ s}} \\&= 38.087,2865 \text{ watt}\end{aligned}$$



#### 4.4.3 Daya Bahan Bakar Kerosin Buka Katup 25% + gas HHO

$$\begin{aligned}m_{\text{kerosin}} &= \rho \times V \\&= 810 \text{ kg/m}^3 \times 0,00048 \text{ m}^3 \\&= 0,3888 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{kerosin}} &= \frac{mf \times \text{NKB}_{\text{kerosin}}}{t} \\&= \frac{0,3888 \text{ kg} \times 43.650.000 \text{ J/kg}}{433 \text{ s}} \\&= 39.194,2725 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m_{\text{HHO}} &= \rho \times V \\&= 0,491167 \text{ kg/m}^3 \times 0,0023 \text{ m}^3 \\&= 0,0011296 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{HHO}} &= \frac{m_{\text{HHO}}}{s} \times \text{NKB}_{\text{HHO}} \\&= \frac{0,0011296 \text{ kg}}{60 \text{ s}} \times \frac{13.325.000 \text{ J}}{\text{kg}} \\&= 250,8653 \text{ J/s} \\&= 250,8653 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{tot}} &= P_{\text{kerosin}} + P_{\text{HHO}} \\&= 39.194,2725 \text{ watt} + 250,8653 \text{ watt} \\&= 39.445,1378 \text{ watt}\end{aligned}$$



#### 4.4.4 Daya Bahan Bakar Kerosin Bukaan Katup 50% + gas HHO

$$\begin{aligned}m_{\text{kerosin}} &= \rho \times V \\&= 810 \text{ kg/m}^3 \times 0,00051 \text{ m}^3 \\&= 0,4131 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{kerosin}} &= \frac{mf \times \text{NKB}_{\text{kerosin}}}{t} \\&= \frac{0,4131 \text{ kg} \times 43.650.000 \text{ J/kg}}{454 \text{ s}} \\&= 39.717,6541 \text{ watt}\end{aligned}$$

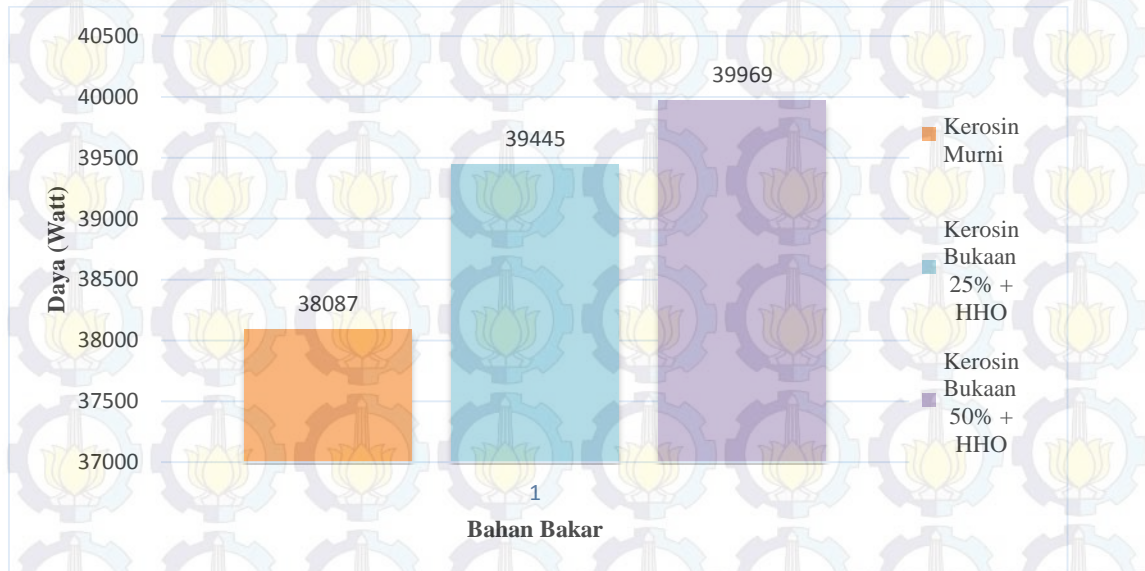
$$\begin{aligned}m_{\text{HHO}} &= \rho \times V \\&= 0,491167 \text{ kg/m}^3 \times 0,0023 \text{ m}^3 \\&= 0,0011296 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{HHO}} &= \frac{m_{\text{HHO}}}{s} \times \text{NKB}_{\text{HHO}} \\&= \frac{0,0011296 \text{ kg}}{60 \text{ s}} \times \frac{13.325.000 \text{ J}}{\text{kg}} \\&= 250,8653 \text{ J/s} \\&= 250,8653 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{tot}} &= P_{\text{kerosin}} + P_{\text{HHO}} \\&= 39.717,6541 \text{ watt} + 250,8653 \text{ watt} \\&= 39.968,5194 \text{ watt}\end{aligned}$$



#### 4.4.5 Analisa Daya Bahan Bakar pada *Blow-torch*



Gambar 4.11 Grafik hubungan variasi bahan bakar terhadap daya

Pada gambar 4.11 menampilkan grafik hubungan variasi bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan. Pada variasi kerosin murni, daya yang dihasilkan sebesar 38.087 watt. Pada variasi kerosin bukaun katup 25% + gas HHO, daya yang dihasilkan meningkat menjadi sebesar 39.445 watt. Sedangkan pada variasi kerosin bukaun katup 50% + gas HHO, daya yang dihasilkan meningkat lagi menjadi sebesar 39.969 watt. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa dengan penambahan gas HHO pada gas kerosin, maka daya yang dihasilkan semakin besar. Hal ini dikarenakan hasil pembakaran  $H_2$  menghasilkan energi dan tekanan yang besar sehingga akan menambah daya yang dihasilkan oleh *blow-torch* yang berbahan bakar kerosin.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Brillyano Agni Pradipta (2013), dijelaskan bahwa terjadi peningkatan daya, tetapi nilainya tidak begitu signifikan karena  $m_{HHO}$  nilainya tidak begitu besar dan kemurnian massa dari hidrogen ( $H_2$ ) hanya 1/9 dari massa total gas. Akan tetapi, peningkatan energi yang hanya 0,08%, yang didapat dari besarnya energi yang dihasilkan pembakaran hidrogen dibandingkan energi hasil pembakaran kerosin pada *blow-torch* mampu menaikkan temperatur api sebesar 100°C.



#### 4.5 Radiasi Api pada *Blow-torch*

$Q_{rad}$  dari masing-masing variasi bahan bakar akan dianalisa berdasarkan struktur api yang mempunyai temperatur lidah api, panjang api dan lebar api tertentu untuk membandingkan besarnya  $Q_{rad}$  radiasi dari ketiga variasi bahan bakar. Koefisien absorpsi api ( $a_p$ ) nilainya 1 karena diasumsikan untuk radiasi yang paling optimal dan api berbentuk kerucut, sehingga untuk volume api ( $V_f$ ) didapatkan dari persamaan volume kerucut. Temperatur api ( $T_f$ ) didapatkan dari temperatur ujung lidah api, karena untuk memanaskan furnace dibutuhkan temperatur yang konstan dimana satuan °C akan dikonversi ke satuan Kelvin.

Contoh perhitungan dari  $Q_{rad}$  dengan menggunakan data pada struktur api untuk variasi kerosin murni adalah sebagai berikut:

Menghitung  $Q_{rad}$  dengan menggunakan persamaan 2.5:

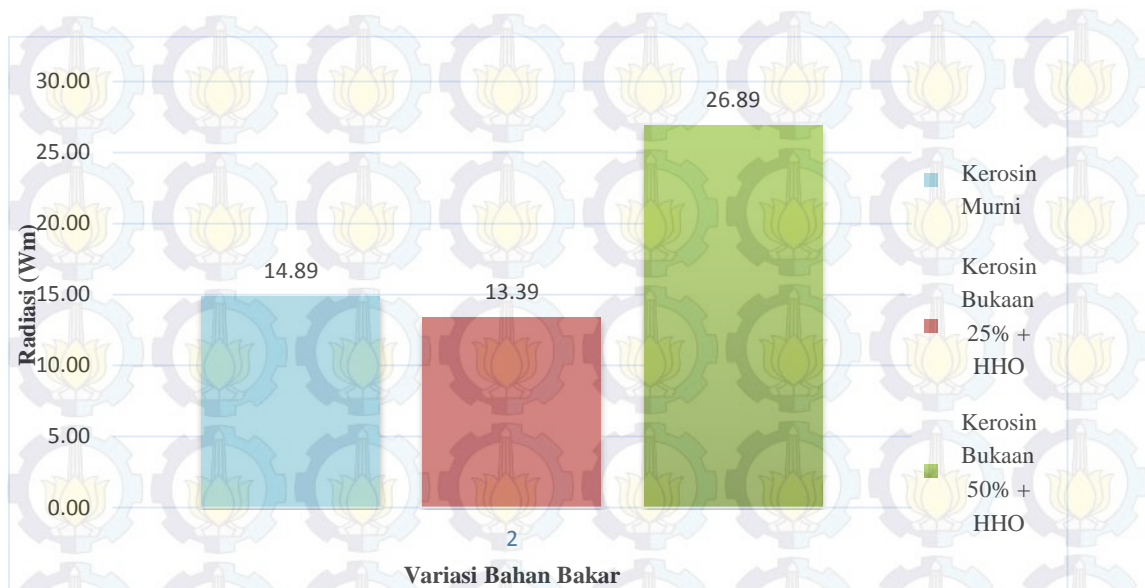
$$Q_{rad} = a_p V_f \sigma T_f^4$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} Q_{rad} &= 1 \times \left( \frac{1}{3} \times 3,14 \times 0,039^2 \times 0,36 \right) \text{m}^3 \times 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 (550^4) \text{K}^4 \\ &= 2,97354 \text{ Wm} \end{aligned}$$

Data perhitungan  $Q_{rad}$  variasi kerosin murni, variasi kerosin bukaan katup 25% + gas HHO, kerosin bukaan katup 50% + gas HHO dapat dilihat pada lampiran 3. Dari data perhitungan tersebut dapat diketahui  $Q_{rad}$  pada masing-masing variasi bahan bakar, jika dibuat grafik maka akan terlihat sebagai berikut:





Gambar 4.12 Grafik Radiasi vs Variasi Bahan Bakar

Pada gambar 4.12 menampilkan grafik radiasi untuk tiap variasi bahan bakar. Dari gambar itu dapat dilihat bahwa radiasi berturut-turut untuk setiap variasi yaitu 14.89 Wm, 13.39 Wm, dan 26.89 Wm. Dari ketiga variasi itu, variasi kerosin bukaan katup 50% + gas HHO yang menghasilkan radiasi paling tinggi.

Bahan bakar cair dari kerosin yang dipanaskan akan menjadi uap bahan bakar, uap ini jika teroksidasi dengan  $O_2$  maka akan siap untuk dibakar. Pembakaran ini membutuhkan panas yaitu berupa api, Semakin sedikit suplai  $O_2$ , maka penguapan bahan bakar semakin lama. Sebaliknya, semakin banyak suplai  $O_2$ , maka penguapan bahan bakar semakin cepat dan semakin cepat pula untuk terbakar. Hal inilah yang membuat variasi kerosin bukaan katup 50% + gas HHO menghasilkan radiasi paling tinggi dengan penambahan suplai  $O_2$ . Selain itu juga karena titik nyala dari hidrogen lebih tinggi daripada kerosin sehingga akan mempercepat proses pembakaran.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini berdasarkan hasil penelitian dan analisa data adalah sebagai berikut :

1. Terjadi peningkatan temperatur pada ujung api, peningkatan temperatur maksimal serta panjang dan lebar nyala api menjadi berkurang. Pada variasi kerosin murni, temperatur ujung api sebesar 550 °C, temperatur maksimal sebesar 1145 °C, panjang nyala api 360 mm, dan lebar api 78 mm. Pada variasi kerosin bukaan katup 25% + gas HHO, temperatur ujung api meningkat menjadi sebesar 660 °C, temperatur maksimal juga meningkat menjadi sebesar 1216 °C, panjang nyala api menjadi lebih pendek yaitu 300 mm, begitu pula lebar api menjadi 72 mm. Pada variasi kerosin bukaan katup 50% + gas HHO, temperatur ujung api meningkat lagi menjadi sebesar 800 °C, temperatur maksimal juga meningkat lagi menjadi sebesar 1319 °C panjang nyala api menjadi lebih pendek lagi yaitu 264 mm, dan lebar api 72 mm.
2. Terjadi peningkatan distribusi temperatur rata-rata maksimal dan letak titik temperatur rata-rata maksimal menjadi lebih maju. Pada variasi kerosin murni, temperatur rata-rata maksimal sebesar 573°C pada panjang api 90 mm. Pada variasi nyala api *blow-torch* kerosin kerosin bukaan katup 25% + gas HHO, temperatur rata-rata maksimal meningkat menjadi sebesar 676°C pada panjang api 96 mm. Pada variasi nyala api *blow-torch* kerosin kerosin bukaan katup 50% + gas HHO, temperatur rata-rata maksimal meningkat lagi menjadi sebesar 747°C pada panjang api 78 mm.
3. Terjadi peningkatan daya bahan bakar pada *blow-torch*. Pada variasi kerosin murni, daya yang dihasilkan sebesar 38.087 watt. Pada variasi kerosin bukaan katup 25% + gas HHO, daya yang dihasilkan meningkat menjadi sebesar 39.445 watt. Sedangkan pada variasi kerosin bukaan katup 50% + gas HHO, daya yang dihasilkan meningkat lagi menjadi sebesar 39.969 watt.



4. Terjadi peningkatan radiasi api pada *blow-torch*. Pada variasi kerosin murni mempunyai  $Q_{rad}$  sebesar 14,89 Wm. Untuk nyala api *blow-torch* kerosin kerosin bukaan katup 25% + gas HHO mempunyai  $Q_{rad}$  sebesar 13,39 Wm. Untuk nyala api *blow-torch* kerosin kerosin bukaan katup 50% + gas HHO mempunyai  $Q_{rad}$  sebesar 26,89 Wm.

## 5.2 Saran

Dari serangkaian pengujian, perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat diberikan beberapa saran untuk perlu dikaji sebagai berikut:

1. Ketika melakukan pengujian generator HHO untuk menghasilkan gas HHO, pastikan semua sambungan aman dan tidak terjadi kebocoran gas agar produksi gas HHO bisa maksimal, dan jauhkan api.
2. Ketika melakukan pengujian *burner blow-torch* dan *mixing* dengan gas HHO, pastikan *Flashback arrestor* yang terpasang pada rangkaian sudah diuji kebocoran sebelumnya, karena jika terjadi kebocoran maka dapat mengakibatkan *backfire* yang dapat membuat rangkain generator HHO meledak.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan uji emisi pada gas sisa hasil pembakaran untuk kadar CO, NO<sub>2</sub>, dan S.
4. Dapat dilakukan variasi konfigurasi nyala api yang berlawanan untuk mempelajari struktur dari *laminar* dan *turbulent premixed flames*.
5. Dapat dilakukan studi numerik untuk hasil yang lebih bagus dan akurat.



## DAFTAR PUSTAKA

Baukal E., Charles (2000), *Combustion Handbook*, John zink A Koch Industries Company, CRC Press, USA.

Chang, Raymond (2004), *Kimia Dasar*, Jilid 1, Edisi 3, Erlangga, Jakarta.

Cobb, H.M. (1999), *Steel Product Manual: Stainless Steel*, Warrendale P.A: Iron & Steel Society.

Dirjend Migas, (2006), *Standard dan Mutu (spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Kerosin yang Dipasarkan Dalam Negeri*, Keputusan Direktur jendral Minyak dan Gas Bumi, Jakarta.

Dopp, R.B. (2007), "*Hidrogen Generation Via Water Electrolysis Using Higly Efficient Nanometal Electrodes*", DSE Quantum Sphere, Inc.

Drysdale, Dougal. 1996. *An Intoduction to Fire Dynamics*. New York : John Wiley & Sons.

Hidayatullah, P. dan Mustari, F. (2008), *Bahan Bakar Air*, Ufuk Press, Jakarta.

Kawano, Sungkono D. 1997 Penelitian Mengenai Gas HHO (Generasi I sampai VIII). Surabaya.

Lowrie, Peter., W.E. (2005), *Electrolytic Gas*, <http://waterpoweredcar.com/pdf.files/egas-calculations.pdf>, diakses 26 Agustus 2014.

McMurry, J., dan Rober, C. (2001), *Chemistry*, Prentice-Hall, New Jersey.

Moran, M.J., dan Shapiro, H.N. (2004), *Termodinamika Teknik*, Jilid 2, Edisi 3, Erlangga, Jakarta.

O'Connor, Ken (2006), *Guide to Safety of Hydrogen and Hydrogen System*, BMS Document GLM-QSA-1700.1

Pradipta, A Brillyano (2013), *Studi Eksperimen Pengaruh Pencampuran Gas Hidrogen Dari Generator HHO Tipe Kering Dengan Bahan Bakar Kerosene Pada Distribusi Temperatur Nyala Api Kompor Tekan Blowtorch*, Tugas Akhir, Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Riyanto (2012), *Elektrokimia dan Aplikasinya*, Graha Ilmu, Yogyakarta.



- Rizal, Subairi (2014), *Generator Gas HHO Dry Type 6 Cell Tersusun Seri Dan Implementasinya Pada Dump Truck Nissan Diesel Cwa 211 Nhrr-S 6925* cc. Tugas Akhir, Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Rossum, J.R. (2000), *Fundamental Of Metallic Corrosions In Fresh Water*, Roscoe Moss Company.
- Saputra, I Putu Ari (2014), *Studi Eksperimen Pengaruh Penambahan Gas Hho Dengan Bahan Bakar Kerosene Terhadap Distribusi Temperatur Nyala Api Kompor Tekan (Blowtorch) Menggunakan Generator HHO Tipe Kering*. Tugas Akhir, Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Soetadi, RR. Vienna Sonna Saputri (2012), *Studi Eksperimen Distribusi Temperatur Nyala Api Kompor Bioethanol Tipe Side Burner dengan Variasi Diameter Firewall 3 Inci dan 2.5 Inci*, Tugas Akhir, Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Takahashi, F., et al (1996), *Vortex-Flame Interactions and Extinction in Turbulent Jet Diffusion Flames*, 26<sup>th</sup> Symposium International on Combustion
- Tjokrowisastro, Eddy H. & Utomo, Budi Kukuh W., (1990), *Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar*, ITS, Surabaya.
- Turn, S.R., 1996. *An Introduction To Combustion Concepts and Application*. Mc Graw Hill Book Co, Singapore.



# LAMPIRAN 1

## PENGUKURAN API

### 1.1 Data pengukuran temperatur api (°C) variasi kerosin murni

Sumbu X (mm)	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	
Sumbu Y (mm)	-54	224	212	208	216	222	224	225	212	215	208	204	196	190	212	242
	-48	281	272	262	272	283	286	289	288	287	285	283	266	254	293	337
	-42	302	298	288	308	317	322	336	341	362	368	376	352	326	402	437
	-36	238	271	291	288	285	293	323	352	387	412	492	552	682	603	587
	-30	392	448	567	583	597	632	667	702	747	813	849	848	847	822	797
	-24	722	763	824	829	834	838	844	851	862	882	987	898	862	889	887
	-18	816	807	803	823	837	846	855	842	827	803	792	788	782	803	877
	-12	842	827	803	792	788	782	803	877	842	855	863	867	862	857	872
	-6	892	912	939	963	956	949	963	977	986	991	992	983	971	969	969
	0	986	999	1013	1027	1036	1041	1031	1026	1018	1013	1036	1117	1110	1103	1117
	6	892	912	939	963	956	949	963	977	986	991	992	983	971	969	969
	12	842	827	803	792	788	782	803	877	842	855	863	867	862	857	872
	18	816	807	803	823	837	846	855	842	827	803	792	788	782	803	877
	24	722	763	824	829	834	838	844	851	862	882	987	898	862	889	887
	30	392	448	567	583	597	632	667	702	747	813	849	848	847	822	797
	36	238	271	291	288	285	293	323	352	387	412	492	552	682	603	587
	42	302	298	288	308	317	322	336	341	362	368	376	352	326	402	437
	48	281	272	262	272	283	286	289	288	287	285	283	266	254	293	337
	54	224	212	208	216	222	224	225	212	215	208	204	196	190	212	242

Sumbu X (mm)	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180	
Sumbu Y (mm)	-54	240	239	231	224	224	227	237	244	229	225	253	271	292	311	293
	-48	335	332	322	312	319	338	336	337	313	302	320	331	342	351	343
	-42	422	400	382	364	372	388	383	363	357	348	359	372	379	386	348
	-36	672	557	542	513	518	528	527	528	539	449	493	513	499	487	462
	-30	823	825	802	752	758	768	753	728	703	671	679	688	662	628	623
	-24	902	914	908	904	909	913	909	902	902	903	893	883	820	787	788
	-18	842	855	863	867	862	858	873	888	879	867	865	865	903	931	883
	-12	887	1001	1025	1004	946	913	964	942	929	913	940	964	957	950	964
	-6	1000	1007	1036	1016	1010	1024	1017	1002	981	990	994	982	968	970	967
	0	1131	1140	1145	1135	1130	1123	1118	1067	1026	1014	1002	999	986	991	994
	6	1000	1007	1036	1016	1010	1024	1017	1002	981	990	994	982	968	970	967
	12	887	1001	1025	1004	946	913	964	942	929	913	940	964	957	950	964
	18	842	855	863	867	862	858	873	888	879	867	865	865	903	931	883
	24	902	914	908	904	909	913	909	902	902	903	893	883	820	787	788
	30	823	825	802	752	758	768	753	728	703	671	679	688	662	628	623
	36	672	557	542	513	518	528	527	528	539	449	493	513	499	487	462
	42	422	400	382	364	372	388	383	363	357	348	359	372	379	386	348
	48	335	332	322	312	319	338	336	337	313	302	320	331	342	351	343
	54	240	239	231	224	224	227	237	244	229	225	253	271	292	311	293

Sumbu X (mm)	186	192	198	204	210	216	222	228	234	240	246	252	258	264	270	
Sumbu Y (mm)	-54	298	257	239	222	217	222	244	239	234	220	199	250	265	257	250
	-48	334	323	313	297	283	287	290	286	278	269	230	265	300	290	282
	-42	340	339	340	335	330	323	313	297	285	276	274	288	321	300	290
	-36	437	443	449	407	393	373	351	349	349	333	317	355	385	354	331
	-30	618	617	617	577	533	497	450	440	419	415	414	498	535	494	430
	-24	823	803	797	733	699	593	588	573	549	577	508	530	560	558	554
	-18	889	887	881	817	793	756	719	629	560	597	641	650	653	648	642
	-12	865	903	931	883	889	807	802	787	763	791	722	744	774	772	768
	-6	961	953	916	926	922	898	861	814	757	794	838	847	850	845	839
	0	978	987	992	982	977	969	964	983	943	937	927	908	893	862	848
	6	961	953	916	926	922	898	861	814	757	794	838	847	850	845	839
	12	865	903	931	883	889	807	802	787	763	791	722	744	774	772	768
	18	889	887	881	817	793	756	719	629	560	597	641	650	653	648	642
	24	823	803	797	733	699	593	588	573	549	577	508	530	560	558	554
	30	618	617	617	577	533	497	450	440	419	415	414	498	535	494	430
	36	437	443	449	407	393	373	351	349	349	333	317	355	385	354	331
	42	340	339	340	335	330	323	313	297	285	276	274	288	321	300	290
	48	334	323	313	297	283	287	290	286	278	269	230	265	300	290	282
	54	298	257	239	222	217	222	244	239	234	220	199	250	265	257	250



Sumbu X (mm)	276	282	288	294	300	306	312	318	324	330	336	342	348	354	360
Sumbu Y (mm)	-54	250	248	254	268	250	243	221	211	204	197	197	198	197	198
	-48	270	263	258	255	247	242	221	214	210	204	200	196	204	196
	-42	284	274	270	264	268	272	263	250	244	218	210	204	218	210
	-36	330	325	318	311	323	330	321	314	304	298	280	265	298	280
	-30	414	397	388	383	383	382	370	355	340	321	304	297	321	304
	-24	500	485	488	489	474	457	414	388	374	365	344	321	365	344
	-18	614	584	577	570	525	491	478	451	434	420	414	404	420	414
	-12	714	699	702	703	523	530	521	514	504	498	480	465	498	480
	-6	811	781	774	767	583	582	570	555	540	521	504	497	521	504
	0	817	773	764	758	674	657	614	588	574	565	544	521	565	544
	6	811	781	774	767	583	582	570	555	540	521	504	497	521	504
	12	714	699	702	703	523	530	521	514	504	498	480	465	498	480
	18	614	584	577	570	525	491	478	451	434	420	414	404	420	414
	24	500	485	488	489	474	457	414	388	374	365	344	321	365	344
	30	414	397	388	383	383	382	370	355	340	321	304	297	321	304
	36	330	325	318	311	323	330	321	314	304	298	280	265	298	280
	42	284	274	270	264	268	272	263	250	244	218	210	204	218	210
	48	270	263	258	255	247	242	221	214	210	204	200	196	204	200
	54	250	248	254	268	250	243	221	211	204	197	197	198	197	198

## 2.2 Data pengukuran temperatur api (°C) variasi kerosin bukaan katup 25% + gas HHO

Sumbu X (mm)	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
Sumbu Y (mm)	-54	340	330	329	341	348	348	353	342	342	339	336	330	335	354
	-48	407	400	418	432	444	445	452	453	449	451	450	435	424	460
	-42	441	439	432	456	466	469	487	494	521	531	540	518	493	566
	-36	494	429	452	453	451	457	515	546	578	607	688	750	881	799
	-30	548	618	740	760	775	832	871	908	930	940	967	968	968	950
	-24	804	847	911	920	926	942	987	941	949	953	966	985	944	968
	-18	906	899	898	935	950	1007	1023	1039	1021	1003	964	973	957	955
	-12	938	925	964	957	954	1010	1036	1047	1053	1026	1012	1005	984	958
	-6	991	1013	1049	1057	1071	1062	1080	1096	1102	1111	1113	1106	1095	1090
	0	1022	1042	1059	1065	1087	1090	1084	1101	1090	1089	1132	1196	1190	1180
	6	991	1013	1049	1057	1071	1062	1080	1096	1102	1111	1113	1106	1095	1090
	12	938	925	964	957	954	1010	1036	1047	1053	1026	1012	1005	984	958
	18	906	899	898	935	950	1007	1023	1039	1021	1003	964	973	957	955
	24	804	847	911	920	926	942	987	941	949	953	966	985	944	968
	30	548	618	740	760	775	832	871	908	930	940	967	968	968	950
	36	494	429	452	453	451	457	515	546	578	607	688	750	881	799
	42	441	439	432	456	466	469	487	494	521	531	540	518	493	566
	48	407	400	418	432	444	445	452	453	449	451	450	435	424	460
	54	340	330	329	341	348	348	353	342	342	339	336	330	335	354

Sumbu X (mm)	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
Sumbu Y (mm)	-54	373	374	363	360	358	364	372	380	367	381	407	423	443	460
	-48	488	472	459	453	458	480	476	478	456	458	474	483	493	500
	-42	587	567	532	518	524	543	536	517	513	504	513	524	530	535
	-36	869	756	738	677	680	693	690	692	705	605	647	665	650	636
	-30	972	855	889	843	847	860	843	819	796	787	793	800	773	737
	-24	975	904	895	895	898	855	899	893	895	919	907	895	831	796
	-18	972	945	950	918	901	887	883	879	872	916	937	922	914	940
	-12	989	991	1012	995	982	965	974	963	972	969	954	976	968	959
	-6	1031	1040	1066	1050	1042	1059	1050	1036	1017	1049	1051	1037	1022	1022
	0	1216	1189	1191	1185	1166	1162	1155	1105	1066	1077	1041	1036	1022	985
	6	1031	1040	1066	1050	1042	1059	1050	1036	1017	1049	1051	1037	1022	1022
	12	989	991	1012	995	982	965	974	963	972	969	954	976	968	959
	18	972	945	950	918	901	887	883	879	872	916	937	922	914	940
	24	975	904	895	895	898	855	899	893	895	919	907	895	831	796
	30	972	855	889	843	847	860	843	819	796	787	793	800	773	737
	36	869	756	738	677	680	693	690	692	705	605	647	665	650	636
	42	587	567	532	518	524	543	536	517	513	504	513	524	530	535
	48	488	472	459	453	458	480	476	478	456	458	474	483	493	500
	54	373	374	363	360	358	364	372	380	367	381	407	423	443	460



Sumbu X (mm)	186	192	198	204	210	216	222	228	234	240	246	252	258	264	270	
Sumbu Y (mm)	-54	446	404	388	368	350	360	384	376	373	357	350	403	325	316	307
	-48	482	470	462	443	431	440	420	413	407	396	371	378	360	349	339
	-42	488	486	489	481	478	476	433	414	404	393	405	401	381	359	347
	-36	585	590	598	553	541	526	506	501	453	435	433	468	445	413	388
	-30	726	724	726	683	641	610	605	592	514	508	521	611	540	498	432
	-24	818	797	793	726	694	646	643	625	603	629	555	593	515	492	486
	-18	937	934	930	863	841	809	774	681	614	649	627	663	613	532	524
	-12	898	935	965	914	922	860	857	839	817	843	788	723	734	656	650
	-6	1012	1003	968	975	973	954	919	866	811	846	904	826	810	729	721
	0	971	979	986	973	970	967	964	980	942	934	938	921	903	746	730
	6	1012	1003	968	975	973	954	919	866	811	846	904	826	810	729	721
	12	898	935	965	914	922	860	857	839	817	843	788	723	734	656	650
	18	937	934	930	863	841	809	774	681	614	649	627	663	613	532	524
	24	818	797	793	726	694	646	643	625	603	629	555	593	515	492	486
	30	726	724	726	683	641	610	605	592	514	508	521	611	540	498	432
	36	585	590	598	553	541	526	506	501	453	435	433	468	445	413	388
	42	488	486	489	481	478	476	433	414	404	393	405	401	381	359	347
	48	482	470	462	443	431	440	420	413	407	396	371	378	360	349	339
	54	446	404	388	368	350	360	384	376	373	357	350	403	325	316	307

Sumbu X (mm)	276	282	288	294	300	306	312	318	324	330	336	342	348	354	360
Sumbu Y (mm)	-54	308	304	307	322	308	299	272	261	252	246	245	244	242	241
	-48	328	319	311	309	305	298	272	264	258	253	248	242	251	245
	-42	342	330	323	318	326	328	314	300	292	267	258	250	265	255
	-36	388	381	371	365	381	352	338	330	318	313	294	277	311	291
	-30	417	398	386	382	386	363	346	330	313	295	277	268	293	274
	-24	433	416	416	418	407	388	370	343	327	319	297	272	317	294
	-18	497	465	455	449	408	372	371	343	324	311	304	292	309	301
	-12	597	580	580	582	456	461	452	444	432	427	408	391	361	341
	-6	694	662	652	646	516	513	491	475	458	440	422	413	384	365
	0	700	654	642	637	657	538	490	484	468	460	438	423	438	415
	6	694	662	652	646	516	513	491	475	458	440	422	413	384	365
	12	597	580	580	582	456	461	452	444	432	427	408	391	361	341
	18	497	465	455	449	408	372	371	343	324	311	304	292	309	301
	24	433	416	416	418	407	388	370	343	327	319	297	272	317	294
	30	417	398	386	382	386	363	346	330	313	295	277	268	293	274
	36	388	381	371	365	381	352	338	330	318	313	294	277	311	291
	42	342	330	323	318	326	328	314	300	292	267	258	250	265	255
	48	328	319	311	309	305	298	272	264	258	253	248	242	251	245
	54	308	304	307	322	308	299	272	261	252	246	245	244	242	241

## 2.3 Data pengukuran temperatur api (°C) variasi kerosin bukaan katup 25% + gas HHO

Sumbu X (mm)	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
Sumbu Y (mm)	-54	423	439	436	436	430	440	443	487	425	441	430	453	452	437
	-48	478	497	513	515	514	525	508	486	520	541	532	546	529	531
	-42	424	448	439	451	448	461	577	439	504	533	534	541	510	549
	-36	500	537	558	547	532	548	644	652	660	708	781	872	997	881
	-30	531	627	747	755	757	824	961	853	933	974	1011	1012	1012	984
	-24	893	1022	1054	1063	1069	1085	1137	1052	1038	1042	1086	1105	964	988
	-18	929	1008	975	1012	1027	1084	1173	1084	1044	1078	1058	1096	1074	1038
	-12	969	1042	1079	1060	1044	1100	1072	1100	1084	1136	1114	1136	1109	1049
	-6	1014	1122	1136	1142	1153	1164	1300	1181	1195	1213	1207	1229	1212	1173
	0	1045	1151	1166	1160	1169	1182	1274	1146	1173	1191	1207	1319	1307	1263
	6	1014	1122	1136	1142	1153	1164	1300	1181	1195	1213	1207	1229	1212	1173
	12	969	1042	1079	1060	1044	1100	1072	1100	1084	1136	1114	1136	1109	1049
	18	929	1008	975	1012	1027	1084	1173	1084	1044	1078	1058	1096	1074	1038
	24	893	1022	1054	1063	1069	1085	1137	1052	1038	1042	1086	1105	964	988
	30	531	627	747	755	757	824	961	853	933	974	1011	1012	1012	984
	36	500	537	558	547	532	548	644	652	660	708	781	872	997	881
	42	424	448	439	451	448	461	577	439	504	533	534	541	510	549
	48	478	497	513	515	514	525	508	486	520	541	532	546	529	531
	54	423	439	436	436	430	440	443	487	425	441	430	453	452	437



Sumbu X (mm)		96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
Sumbu Y (mm)	-54	451	469	448	442	419	440	439	430	410	388	409	438	444	465	342
	-48	554	555	444	523	507	456	443	428	399	365	376	398	394	405	392
	-42	565	562	517	500	485	519	503	467	456	411	415	439	431	440	397
	-36	946	850	723	758	740	768	756	741	747	611	549	580	551	541	511
	-30	986	910	874	825	808	836	810	769	739	694	695	715	674	642	632
	-24	1095	1065	980	1043	1025	1047	1032	1009	1004	992	920	921	843	812	809
	-18	1050	940	935	940	912	926	930	929	915	890	881	892	915	945	854
	-12	1075	1094	1097	1085	1004	981	1021	983	965	936	956	991	969	964	935
	-6	1109	1135	1151	1132	1103	1135	1117	1086	1060	1056	1053	1001	972	976	981
	0	1287	1284	1276	1267	1227	1238	1222	1155	1109	1084	1043	1051	1023	990	1000
	6	1109	1135	1151	1132	1103	1135	1117	1086	1060	1056	1053	1001	972	976	981
	12	1075	1094	1097	1085	1004	981	1021	983	965	936	956	991	969	964	935
	18	1050	940	935	940	912	926	930	929	915	890	881	892	915	945	854
	24	1095	1065	980	1043	1025	1047	1032	1009	1004	992	920	921	843	812	809
	30	986	910	874	825	808	836	810	769	739	694	695	715	674	642	632
	36	946	850	723	758	740	768	756	741	747	611	549	580	551	541	511
	42	565	562	517	500	485	519	503	467	456	411	415	439	431	440	397
	48	554	555	444	523	507	456	443	428	399	365	376	398	394	405	392
	54	451	469	448	442	419	440	439	430	410	388	409	438	444	465	342

Sumbu X (mm)	186	192	198	204	210	216	222	228	234	240	246	252	258	264	270	
Sumbu Y (mm)	-54	448	411	386	362	342	343	365	352	351	332	358	365	384	377	365
	-48	484	477	460	437	423	423	401	389	385	390	348	359	338	379	366
	-42	490	493	487	475	470	459	513	390	382	368	363	363	340	370	355
	-36	587	597	596	547	533	509	586	477	431	410	391	430	404	374	396
	-30	628	631	624	677	633	643	685	568	492	483	479	573	499	459	456
	-24	820	804	791	720	786	729	823	701	681	704	563	605	524	503	494
	-18	889	891	878	807	883	792	755	657	592	624	585	625	572	543	532
	-12	850	892	913	858	864	843	838	815	795	818	746	685	693	617	608
	-6	964	960	916	919	915	937	900	842	789	821	862	788	769	690	679
	0	973	986	984	967	962	950	945	956	920	909	896	883	862	807	788
	6	964	960	916	919	915	937	900	842	789	821	862	788	769	690	679
	12	850	892	913	858	864	843	838	815	795	818	746	685	693	617	608
	18	889	891	878	807	883	792	755	657	592	624	585	625	572	543	532
	24	820	804	791	720	786	729	823	701	681	704	563	605	524	503	494
	30	628	631	624	677	633	643	685	568	492	483	479	573	499	459	456
	36	587	597	596	547	533	509	586	477	431	410	391	430	404	374	396
	42	490	493	487	475	470	459	513	390	382	368	363	363	340	370	355
	48	484	477	460	437	423	423	401	389	385	390	348	359	338	379	366
	54	448	411	386	362	342	343	365	352	351	332	358	365	384	377	365

Sumbu X (mm)		276	282	288	294	300	306	312	318	324	330	336	342	348	354	360
Sumbu Y (mm)	-54	364	361	362	376	359	348	314	328	323	320	317	314	317	313	314
	-48	353	345	335	332	325	316	333	320	348	346	339	331	343	335	331
	-42	348	337	328	322	327	327	356	337	363	341	330	320	338	326	320
	-36	394	388	376	369	382	351	380	367	359	357	336	325	362	340	325
	-30	439	421	407	402	403	398	374	353	381	366	346	336	364	343	330
	-24	489	473	471	472	458	437	452	420	408	403	399	350	378	373	326
	-18	503	472	460	453	509	471	463	430	415	405	426	410	409	385	344
	-12	553	537	535	536	457	460	444	431	423	421	450	439	412	390	375
	-6	650	619	607	600	517	512	483	462	449	434	464	461	435	414	407
	0	756	711	697	691	678	657	602	511	499	494	500	431	479	454	431
	6	650	619	607	600	517	512	483	462	449	434	464	461	435	414	407
	12	553	537	535	536	457	460	444	431	423	421	450	439	412	390	375
	18	503	472	460	453	509	471	463	430	415	405	426	410	409	385	344
	24	489	473	471	472	458	437	452	420	408	403	399	350	378	373	326
	30	439	421	407	402	403	398	374	353	381	366	346	336	364	343	330
	36	394	388	376	369	382	351	380	367	359	357	336	325	362	340	325
	42	348	337	328	322	327	327	356	337	363	341	330	320	338	326	320
	48	353	345	335	332	325	316	333	320	348	346	339	331	343	335	331
	54	364	361	362	376	359	348	314	328	323	320	317	314	317	313	314



**LAMPIRAN 2**  
**DATA DISTRIBUSI TEMPERATUR RATA-RATA**  
Variasi 1, Kerosin Murni

**LAMPIRAN 2**  
**DATA DISTRIBUSI TEMPERATUR RATA-RATA**  
Variasi 1, Kerosin Murni

**LAMPIRAN 2**  
**DATA DISTRIBUSI TEMPERATUR RATA-RATA**  
Variasi 1, Kerosin Murni

LAMPIRAN 2

DATA DISTRIBUSI TEMPERATUR RATA-RATA

Variasi 1, Kerosin Murni

P	1			2			3			4			5			6			7			8			9			A <sub>tot</sub>	(TxA) <sub>tot</sub>
	T (°C)	r0	ri	T (°C)	r0	ri	T (°C)	r0	ri	T (°C)	r0	ri	T (°C)	r0	ri	T (°C)	r0	ri	T (°C)	r0	ri	T (°C)	r0	ri					
6	950	6	0	850	19	6	750	24	19	650	26	24	550	28	26	450	30	28	350	34	30	250	54	34			9156.24	3698606	
12	950	6	0	850	19	6	750	25	19	650	27	25	550	29	27	450	32	29	350	35	32	250	54	35			9156.24	3809134	
18	1050	2	0	950	8	2	850	24	8	750	26	24	650	30	26	550	32	30	450	34	32	350	36	34	250	54	36	9156.24	4077604
24	1050	3	0	950	8	3	850	25	8	750	26	25	650	30	26	550	32	30	450	34	32	350	36	34	250	54	36	9156.24	4094560
30	1050	3	0	950	8	3	850	25	8	750	26	25	650	30	26	550	32	30	450	34	32	350	36	34	250	54	36	9156.24	4094560
36	1050	3	0	950	8	3	850	25	8	750	27	25	650	30	27	550	33	30	450	35	33	350	36	35	250	54	36	9156.24	4153278
42	1050	3	0	950	8	3	850	26	8	750	27	26	650	31	27	550	33	31	450	35	33	350	46	35	250	54	46	9156.24	4445926
48	1050	3	0	950	10	3	850	26	10	750	28	26	650	32	28	550	33	32	450	35	33	350	47	35	250	54	47	9156.24	4523484
54	1050	3	0	950	10	3	850	27	10	750	29	27	650	33	29	550	34	33	450	36	34	350	47	36	250	54	47	9156.24	4621766
60	1050	3	0	950	10	3	850	30	10	750	31	30	650	33	31	550	35	33	450	38	35	350	47	38	250	54	47	9156.24	4781278
66	1050	5	0	950	10	5	850	31	10	750	33	31	650	34	33	550	36	34	450	41	36	350	47	41	250	54	47	9156.24	4963398
72	1050	5	0	950	10	5	850	31	10	750	32	31	650	35	32	550	37	35	450	41	37	350	46	41	250	54	46	9156.24	4958374
78	1050	5	0	950	10	5	850	32	10	750	35	32	650	37	35	550	39	37	450	41	39	350	45	41	250	54	45	9156.24	5105640
84	1050	5	0	950	10	5	850	30	10	750	33	30	650	36	33	550	39	36	450	42	39	350	48	42	250	54	48	9156.24	5114746
90	1050	5	0	950	10	5	850	30	10	750	33	30	650	38	33	550	39	38	450	44	39	350	49	44	250	54	49	9156.24	5245684
96	1050	6	0	950	12	6	850	30	12	750	34	30	650	36	34	550	40	36	450	43	40	350	49	43	250	54	49	9156.24	5235008
102	1050	12	0	950	16	12	850	30	16	750	33	30	650	36	33	550	38	36	450	42	38	350	49	42	250	54	49	9156.24	5207376
108	1050	12	0	950	16	12	850	30	16	750	33	30	650	35	33	550	37	35	450	42	37	350	48	42	250	54	48	9156.24	5131074
114	1050	12	0	950	16	12	850	28	16	750	32	28	650	35	32	550	36	35	450	41	36	350	48	41	250	54	48	9156.24	5025256
120	1050	7	0	950	15	7	850	28	15	750	32	28	650	34	32	550	36	34	450	41	36	350	48	41	250	54	48	9156.24	4964026
126	1050	7	0	950	13	7	850	28	13	750	32	28	650	34	32	550	37	34	450	42	37	350	50	42	250	54	50	9156.24	5056970
132	1050	7	0	950	17	7	850	28	17	750	32	28	650	34	32	550	37	34	450	41	37	350	50	41	250	54	50	9156.24	5068588
138	1050	6	0	950	17	6	850	28	17	750	31	28	650	34	31	550	37	34	450	41	37	350	50	41	250	54	50	9156.24	5044724
144	1050	3	0	950	16	3	850	27	16	750	30	27	650	34	30	550	37	34	450	40	37	350	49	40	250	54	49	9156.24	4932946
150	1050	3	0	950	13	3	850	26	13	750	30	26	650	32	30	550	35	32	450	39	35	350	48	39	250	54	48	9156.24	4747052
156	950	15	0	850	26	15	750	30	26	650	33	30	550	36	33	450	40	36	350	50	40	250	54	50			9156.24	4890864	
162	950	16	0	850	26	16	750	30	26	650	33	30	550	36	33	450	41	36	350	51	41	250	54	51			9156.24	4957746	
168	950	18	0	850	24	18	750	29	24	650	32	29	550	36	32	450	41	36	350	54	41						9156.24	5007672	
174	950	19	0	850	24	19	750	27	24	650	32	27	550	36	32	450	41	36	350	54	41						9156.24	4984122	
180	950	17	0	850	24	17	750	27	24	650	31	27	550	35	31	450	39	35	350	54	39						9156.24	4869198	
186	950	10	0	850	24	10	750	27	24	650	30	27	550	34	30	450	38	34	350	54	38						9156.24	4744854	
192	950	12	0	850	24	12	750	27	24	650	30	27	550	34	30	450	38	34	350	50	38	250	54	50			9156.24	4628046	
198	950	15	0	850	24	15	750	27	24	650	30	27	550	34	30	450	38	34	350	49	38	250	54	49			9156.24	4622394	
204	950	9	0	850	20	9	750	25	20	650	29	25	550	33	29	450	37	33	350	48	37	250	54	48			9156.24	4395686	
210	950	9	0	850	18	9	750	24	18	650	27	24	550	31	27	450	36	31	350	46	36	250	54	46			9156.24	4199122	
216	950	6	0	850	12	6	750	20	12	650	24	20	550	30	24	450	35	30	350	46	35	250	54	46			9156.24	3983718	
222	950	4	0	850	12	4	750	18	12	650	24	18	550	28	24	450	33	28	350	45	33	250	54	45			9156.24	3845872	
228	950	3	0	850	9	3	750	15	9	650	21	15	550	27	21	450	33	27	350	42	33	250	54	42			9156.24	3651192	
234	950	1	0	850	5	1	750	14	5	650	17	14	550	26	17	450	32	26	350	40	32	250	54	40			9156.24	3485714	
240	950	2	0	850	6	2	750	15	6	650	18	15	550	26	18	450	31	26	350	39	31	250	54	39			9156.24	3465618	
246	950	2	0	850	8	2	750	14	8	650	20	14	550	24	20	450	30	24	350	39	30	250	54	39			9156.24	3438614	
252	850	8	0	750	14	8	650	20	14	550	30	20	450	34	30	350	41	34	250	54	41						9156.24	3669718	
258	850	9	0	750	15	9	650	21	15	550	31	21	450	35	31	350	48	35	250	54	48						9156.24	3933478	
264	850	9	0	750	15	9	650	21	15	550	30	21	450	34	30	350	42	34	250	54	42						9156.24	3723098	
270	850	9	0	750	15	9	650	21	15	550	27	21	450	32	27	350	40	32	250	54	40						9156.24	3576460	
276	850	6	0	750	12	6	650	19	12	550	24	19	450	31	24	350	40	31	250	54	40						9156.24	3443952	
282	750	12	0	650	18	12	550	24	18	450	30	24	350	39	30	250	54	39									9156.24	3377070	
288	750	12	0	650	17	12	550	23	17	450	30	23	350	38	30	250	54	38									9156.24	3327144	
294	750	12	0	650	17	12	550	23	17	450	29	23	350	37	29	250	54	37									9156.24	3285068	
300	650	4	0	550	21	4	450	29	21	350	38	29	250	54	38												9156.24	3150048	
306	650	4	0	550	17	4	450	29	17	350	39	29	250	54	39												9156.24	3126498	
312	550	15	0	450	26	15	350	38	26	250	54	38															9156.24	3025390	
318	550	13	0	450	24	13	350	37	24	250	54	37															9156.24	2952856	
324	550	12	0	450	21	12	350	36	21	250	54	36															9156.24	2879694	
330	550	12	0	450	20	12	350	36	20	250	51	36															8167.14	2619545	
336	550	6	0	450	19	6	350	31	19	250	48	31																	



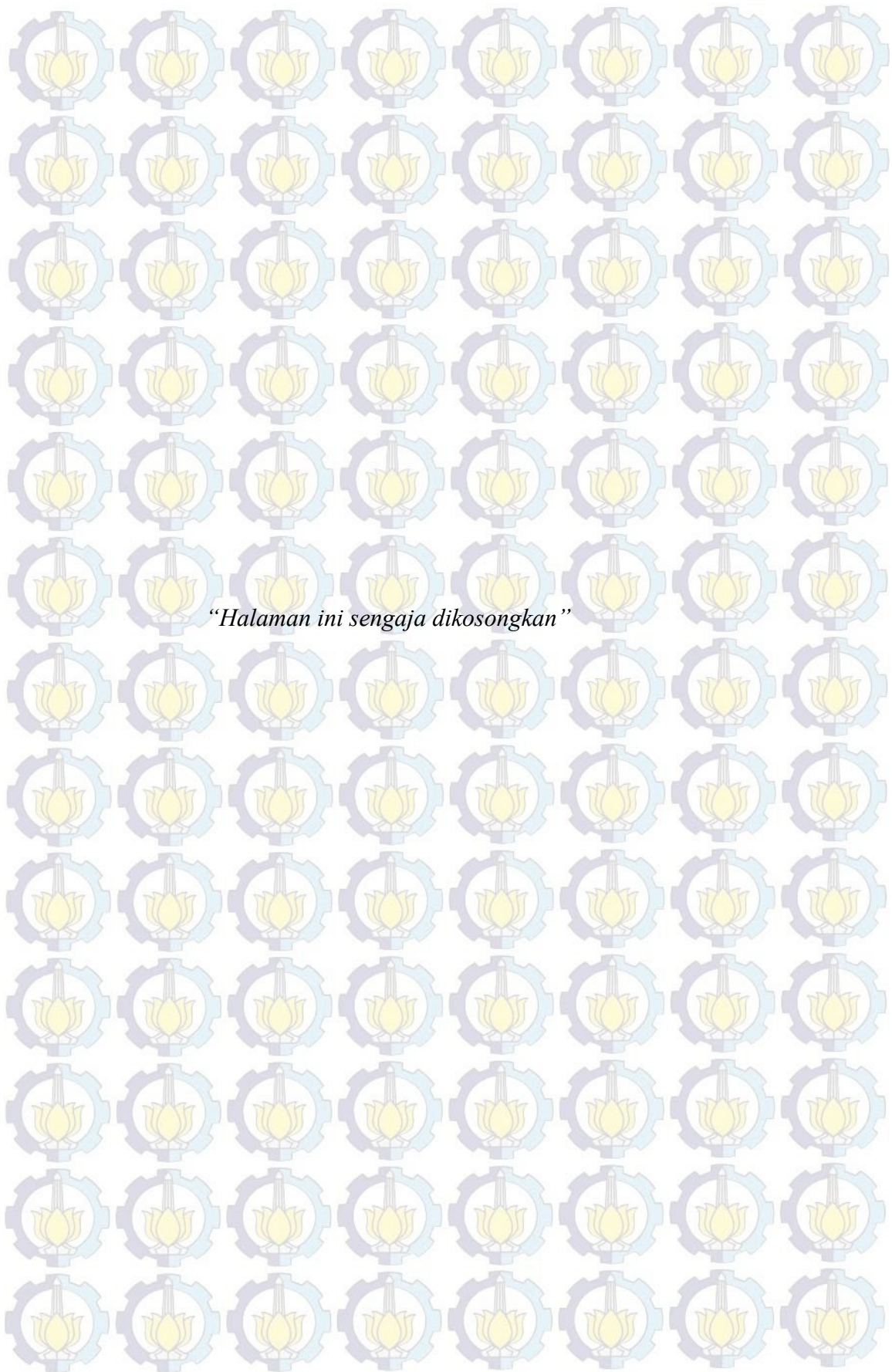
si 2, Kerosin Bukan Katup 25% + gas HHO



### Variasi 3, Kerosin Bukaak Katup 50% + gas HHO

P	1			2			3			4			5			6			7			8			9			A <sub>tot</sub>	(TxA) <sub>tot</sub>	T <sub>rate-rate</sub>
	T (°C)	r0	ri	T (°C)	r0	ri	T (°C)	r0	ri	T (°C)	r0	ri	T (°C)	r0	ri	T (°C)	r0	ri	T (°C)	r0	ri	T (°C)	r0	ri						
6	1000	6	0	900	24	6	800	25	24	600	29	25	500	36	29	450	51	36	400	54	51					9156.24	5123067	560		
12	1100	7	0	1000	24	7	900	26	24	800	26	26	600	30	26	500	39	30	450	53	39	400	54	53			9156.24	5457948	596	
18	1100	9	0	1000	25	9	900	27	25	800	28	27	600	35	28	500	39	35	450	53	39	400	54	53			9156.24	5669898	619	
24	1100	8	0	1000	25	8	900	27	25	800	29	27	600	35	29	500	39	35	450	53	39	400	54	53			9156.24	5700356	623	
30	1100	8	0	1000	26	8	900	28	26	800	29	28	600	34	29	500	38	34	450	52	38	400	54	52			9156.24	5683400	621	
36	1200	6	0	1100	12	6	1000	26	12	900	29	26	800	30	29	600	36	30	500	39	36	450	54	39			9156.24	5864107	640	
42	1200	9	0	1100	12	9	1000	28	12	900	31	28	800	33	31	600	39	33	500	48	39	450	54	48			9156.24	6262102	684	
48	1100	12	0	1000	26	12	900	29	26	800	32	29	600	37	32	500	41	37	450	54	41						9156.24	5978717	653	
54	1100	12	0	1000	26	12	900	30	26	800	33	30	600	38	33	500	49	38	450	54	49						9156.24	6174653	674	
60	1100	15	0	1000	28	15	900	32	28	800	34	32	600	39	34	500	50	39	450	54	50						9156.24	6354732	694	
66	1200	6	0	1100	13	6	1000	30	13	900	33	30	800	36	33	600	39	36	500	50	39	450	54	50			9156.24	6493206	709	
72	1200	7	0	1100	17	7	1000	30	17	900	36	30	800	38	36	600	40	38	500	51	40	450	54	51			9156.24	6733573	735	
78	1200	6	0	1100	12	6	1000	35	12	900	37	35	800	39	37	600	40	39	500	50	40	450	54	50			9156.24	6841432	747	
84	1200	4	0	1100	10	4	1000	22	10	900	36	22	800	38	36	600	41	38	500	50	41	450	54	50			9156.24	6542818	715	
90	1200	4	0	1100	11	4	1000	28	11	900	35	28	800	38	35	600	42	38	500	53	42	450	54	53			9156.24	6695893	731	
96	1200	3	0	1100	8	3	1000	29	8	900	33	29	800	39	33	600	42	39	500	51	42	450	54	51			9156.24	6666691	728	
102	1200	3	0	1100	11	3	1000	27	11	900	30	27	800	36	30	600	41	36	500	51	41	450	54	51			9156.24	6422713	701	
108	1200	3	0	1100	12	3	1000	15	12	900	29	15	800	33	29	600	40	33	500	43	40	450	48	43	400	54	48	9156.24	5883575	643
114	1200	3	0	1100	10	3	1000	15	10	900	28	15	800	32	28	600	40	32	500	49	40	450	54	49			9156.24	5993789	655	
120	1200	2	0	1100	6	2	1000	12	6	900	28	12	800	30	28	600	39	30	500	48	39	450	52	48	400	54	52	9156.24	5795498	633
126	1200	3	0	1100	7	3	1000	12	7	900	28	12	800	33	28	600	40	33	500	43	40	450	50	43	400	54	50	9156.24	5841185	638
132	1200	2	0	1100	7	2	1000	13	7	900	28	13	800	30	28	600	39	30	500	42	39	450	48	42	400	54	48	9156.24	5659850	618
138	1100	5	0	1000	11	5	900	28	11	800	29	28	600	39	29	500	41	39	450	45	41	400	54	45			9156.24	5542100	605	
144	1100	2	0	1000	10	2	900	27	10	800	28	27	600	39	28	500	41	39	450	42	41	400	48	42	350	54	48	9156.24	5338785	583
150	1000	9	0	900	26	9	800	27	26	600	36	27	500	40	36	450	40	40	400	43	40	350	54	43			9156.24	5099831	557	
156	1000	9	0	900	24	9	800	27	24	600	34	27	500	39	34	450	40	39	400	44	40	350	54	44			9156.24	5025727	549	
162	1000	6	0	900	24	6	800	27	24	600	35	27	500	40	35	450	41	40	400	48	41	350	54	48			9156.24	5116159	559	
168	1000	3	0	900	19	3	800	26	19	600	34	26	500	39	34	450	41	39	400	48	41	350	54	48			9156.24	4972818	543	
174	900	19	0	800	24	19	600	32	24	500	39	32	450	41	39	400	52	41	350	54	52						9156.24	4928544	538	
180	900	14	0	800	24	14	600	31	24	500	36	31	450	39	36	400	42	39	350	54	42						9156.24	4648927	508	
186	900	9	0	800	24	9	600	34	24	500	41	34	450	54	41												9156.24	5134371	561	
192	900	12	0	800	24	12	600	36	24	500	42	36	450	50	42	400	54	50									9156.24	5145832	562	
198	900	11	0	800	24	11	600	36	24	500	41	36	450	48	41	400	53	48	350	54	53						9156.24	5078008	555	
204	900	8	0	800	18	8	600	33	18	500	40	33	450	45	40	400	51	45	350	54	51						9156.24	4747680	519	
210	900	8	0	800	23	8	600	32	23	500	39	32	450	44	39	400	50	44	350	54	50						9156.24	4813777	526	
216	900	9	0	800	18	9	600	32	18	500	38	32	450	43	38	400	50	43	350	54	50						9156.24	4664627	509	
222	900	6	0	800	15	6	600	35	15	500	42	35	450	45	42	400	48	45	350	54	48						9156.24	4698539	513	
228	900	3	0	800	12	3	600	29	12	500	35	29	450	38	35	400	42	38	350	54	42						9156.24	4257997	465	
234	900	2	0	800	6	2	600	27	6	500	30	27	450	35	30	400	40	35	350	54	40						9156.24	4042279	441	
240	800	12	0	600	27	12	500	30	27	450	34	30	400	38	34	350	54	38									9156.24	4073522	445	
246	800	9	0	600	18	9	500	29	18	450	33	29	400	36	33	350	54	36									9156.24	3863770	422	
252	800	6	0	600	24	6	500	33	24	450	35	33	400	38	35	350	54	38									9156.24	3998162	437	
258	800	4	0	600	17	4	500	30	17	450	33	30	400	36	33	350	54	36									9156.24	3821223	417	
264	600	13	0	500	24	13	450	30	24	400	35	30	350	54	35												9156.24	3681807	402	
270	600	12	0	500	23	12	450	30	23	400	36	30	350	54	36												9156.24	3677725	402	
276	600	9	0	500	18	9	450	29	18	400	36	29	350	54	36												9156.24	3616495	395	
282	600	8	0	500	15	8	450	28	15	400	34	28	350	54	34												9156.24	3564685	389	
288	600	6	0	500	14	6	450	27	14	400	32	27	350	54	32															







### LAMPIRAN 3

#### PERHITUNGAN RADIASI

Menghitung  $Q_{rad}$  dengan menggunakan persamaan 2.5:

$$Q_{rad} = a_p V_f \sigma T_f^4$$

##### 1. Kerosin Murni

- Lebar api = diameter api = 78 mm  
Jadi  $r = \frac{1}{2}$  diameter = 39 mm = 0,039 m
- Panjang api = tinggi = 360 mm = 0,36 m
- Temperatur ujung lidah api = 550 °C = 823 K

Sehingga :

$$\begin{aligned} Q_{rad} &= 1 \times \left( \frac{1}{3} \times 3,14 \times 0,039^2 \times 0,36 \right) \text{ m}^3 \times 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 (823^4) \text{ K}^4 \\ &= 14,89 \text{ Wm} \end{aligned}$$

##### 2. Kerosin bukaan katup 25% + gas HHO

- Lebar api = diameter api = 72 mm  
Jadi  $r = \frac{1}{2}$  diameter = 36 mm = 0,036 m
- Panjang api = tinggi = 300 mm = 0,3 m
- Temperatur ujung lidah api = 600 °C = 873 K

Sehingga :

$$\begin{aligned} Q_{rad} &= 1 \times \left( \frac{1}{3} \times 3,14 \times 0,036^2 \times 0,3 \right) \text{ m}^3 \times 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 (873^4) \text{ K}^4 \\ &= 13,39 \text{ Wm} \end{aligned}$$



3. Kerosin bukaan katup 50% + gas HHO

➤ Lebar api = diameter api = 72 mm

Jadi  $r = \frac{1}{2}$  diameter = 36 mm = 0,036 m

➤ Panjang api = tinggi = 264 mm = 0,264 m

➤ Temperatur ujung lidah api = 800 °C = 1073 K

Sehingga :

$$Q_{rad} = 1 \times \left( \frac{1}{3} \times 3,14 \times 0,036^2 \times 0,264 \right) \text{ m}^3 \times 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 (1073^4) \text{ K}^4$$
$$= 26,89 \text{ Wm}$$





**Indah Puspitasari**, lahir di Madiun Jawa Timur pada 14 September 1991, anak pertama dari dua bersaudara. Penulis memulai pendidikan di SDN Mojomanis 1 Kwadungan Ngawi (1997-2003), dan melanjutkan ke SMPN 1 Balerejo Madiun (2003-2006), kemudian melanjutkan ke SMAN 1 Nglames Madiun (2006-2009). Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan

studi Strata I di Universitas Negeri Surabaya (UNESA) di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, bidang keahlian Otomotif (2009-2013). Penulis melanjutkan studi Strata II di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, mengambil jurusan Teknik Mesin, bidang keahlian Rekayasa Konversi Energi (2013-2015).

Saat menjadi mahasiswa, penulis aktif di beberapa organisasi kampus seperti : *Anggota Dep. Advokasi dan HAM Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) tahun 2010-2011, Sekretaris Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) tahun 2011-2012, Divisi Humas Unit Pelatihan Mahasiswa (UPM) tahun 2010-2012, Divisi Pengembangan Bakat Fulcom Leadership Center (FLC) tahun 2011-2012.* Pernah melakukan penelitian tentang : *Studi Komparasi Performa Motor Yamaha Jupiter MX 2010 Berbahan Bakar Biopremium dengan Pertamina (2013)*, selanjutnya aktif melakukan penelitian di *Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar Teknik Mesin ITS tahun 2014-2015.*

Pada tahun 2013, pernah menerapkan ilmu pengetahuan pada bidang Otomotif dengan mengajar sementara di UPT PPPK Dinas Pendidikan Jawa Timur. Untuk memudahkan kritik dan saran yang membangun dapat mengirim email ke alamat [indah14091991@gmail.com](mailto:indah14091991@gmail.com).